

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica**  
**Eléctrica y Mecatrónica**



**“DISEÑO E IMLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL  
ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN POR  
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)”**

**Tesis presentada por el Bachiller:**

Zapana Mamani, Luis Alberto

**Para optar el Título Profesional de:**

Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor:

Ing. Chirinos Apaza, Luis Adrián

**Arequipa –Perú**

**2019**



Universidad Católica  
de Santa María

AREQUIPA-PERÚ

(51 54) 382038 <http://www.ucsm.edu.pe> [facebook.com/ucsm.edu.pe/](https://www.facebook.com/ucsm.edu.pe/)

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA  
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN MODULO  
DIDACTICO PARA EL ARRANQUE ELECTRONICO  
DE MOTORES ELECTRICOS DE INDUCCION POR  
PLC”**

Presentado por el Bachiller:


ZAPANA MAMANI LUIS ALBERTO

Nuestro DICTAMEN es:

*Aprobado, con opinión favorable para*  
*su sustentación*  
OBSERVACIONES: *Sin observaciones*

Arequipa, 05 de Diciembre 2019.

  
ING. LUIS CHIRINOS APAZA

*1470*  
  
ING. CESAR CASTILLO CACERES

## DEDICATORIA

A mis padres por siempre brindarme su amor y apoyo incondicional por darme esta hermosa carrera y por ser un ejemplo de superación constante en cada aspecto de mi vida, a mi esposa Vanessa por nunca dejar de creer en mí, por su apoyo para llegar a alcanzar mis objetivos.

A mí hija Luciana la razón de mi vida, por su alegría que siempre me motiva.

**Luis.**



## RESUMEN

En la actualidad sea cual industria o aplicación los variadores de velocidad se ha extendido en los sistemas de producción modernos proporcionando ahorro de energía, confort, seguridad y simplicidad en sus procesos.

El presente proyecto, “Diseño e implementación de un módulo didáctico para el arranque electrónico de motores eléctricos de inducción por controlador lógico programable (PLC)”, para la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica, ante la necesidad de conocer el comportamiento de estos equipos en los diferentes procesos, el módulo didáctico permitirá demostrar determinadas funciones como es el arranque electrónico y control de motores de inducción trifásicos de jaula de ardilla por controlador lógico programable (PLC).

Con la implementación del módulo se realizara la operación de programación básica (diagrama de contactos) del controlador lógico programable (PLC) y del variador de velocidad. Integrando posteriormente los dos elementos en la aplicación del arranque electrónico.

El modulo está equipado con un analizador de redes midiendo cerca de 200 magnitudes eléctricas, accediendo y guardando los parámetros con valores máximos, medios y mínimos a través transformadores de corriente como son: potencia eléctrica, corrientes, voltaje, armónicos de corriente, armónicos de voltaje, y/o otros. Puede realizar mediciones monofásicas, bifásicas y trifásicas, y puede utilizarse en redes (sistemas) en esquemas TN, TT e IT de dos, tres o cuatro conductores.

Familiarizados con los elementos de control, variador de velocidad y el PLC se realizará la comparación de los parámetros eléctricos del arranque directo y arranque electrónico (arranque suave) del motor trifásico de inducción de jaula de ardilla.

Otras de las características del módulo permitirá realizar a motores de inducción de jaula de ardilla pruebas de arranque estrella – delta, frenados por inducción de corriente continua, inversión de giro y simular entradas y salidas del PLC.

El proyecto contribuye en la actualización de los conocimientos recientes de tecnologías de continuo desarrollo y en beneficio del medio ambiente mediante la eficiencia energética que estos equipos presentan. Permitirá conocer y demostrar sobre los cambios dados en la industria en la implementación variadores de velocidad para el arranque de motores

eléctricos en los diferentes tipos de procesos comparando con los arranques tradicionales, buscando el rendimiento máximo de un motor eléctrico con el menor consumo posible.

Finalmente, se diseñaron las guías de prácticas para que los alumnos de pre-grado o interesados en seguir con la investigación, puedan llevar de manera ordenada los datos tomados en la práctica y tener los resultados esperados.

**Palabras Clave:** Motor eléctrico, arranque electrónico, autómatas programables, control escalar.



## ABSTRACT

Nowadays, whatever industry or application the speed drives have been extended in modern production systems providing energy savings, comfort, safety and simplicity in their processes.

The present project, “Design and implementation of a didactic module for the electronic start of electric induction motors by programmable logic controller (PLC)”, for the Professional School of Mechanical, Mechanical-Electrical and Mechatronics Engineering, in view of the need to know the behavior of these equipment in the different processes, the didactic module will allow to demonstrate certain functions such as electronic start and control of three-phase induction motors of squirrel cage by programmable logic controller (PLC).

With the implementation of the module, the basic programming operation (contact diagram) of the programmable logic controller (PLC) and the speed controller will be performed. Later integrating the two elements in the application of electronic start.

The module is equipped with a network analyzer measuring about 200 electrical quantities, accessing and saving the parameters with maximum, average and minimum values through current transformers such as: electrical power, currents, voltage, current harmonics, voltage harmonics , and / or others. It can perform single-phase, two-phase and three-phase measurements, and can be used in networks (systems) in TN, TT and IT schemes of two, three or four conductors.

Familiar with the control elements, speed variator and the PLC, the comparison of the electrical parameters of the direct start and electronic start (soft start) of the three-phase squirrel cage induction motor will be carried out.

Other features of the module will allow squirrel cage induction motors to perform star - delta start tests, braked by direct current induction, turn inversion and simulate PLC inputs and outputs.

The project contributes to the updating of recent knowledge of technologies of continuous development and for the benefit of the environment through the energy efficiency that these teams present. It will allow to know and demonstrate about the changes given in the industry in the implementation of variable speed drives for the start of electric motors in the different types of processes compared to the traditional starts, looking for the maximum performance of an electric motor with the lowest possible consumption.

Finally, the practice guides were designed so that undergraduate students or interested in continuing with the research, can carry in an orderly manner the data taken in practice and have the expected results.

Keywords: Electric motor, electronic start, programmable automatons, scalar control.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación denominado “Diseño e implementación de un módulo didáctico para el arranque electrónico de motores eléctricos de inducción por controlador lógico programable (PLC)” consta: el diseño, construcción de un módulo didáctico; análisis de parámetros registrados en el funcionamiento e implementación de guías prácticas de laboratorio para diferentes aplicaciones de operación del módulo (programación y configuración de controlador lógico programable y variador de velocidad) para el laboratorio de electricidad y máquinas eléctricas de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica- Eléctrica y Mecatrónica de la Universidad Católica de Santa María.

Para alcanzar este se objetivo, se diseñó y se construyó un módulo de aprendizaje desarrollándolo con la aplicación básica en programación y configuración de los equipos para que estas puedan ser operadas. El proyecto consta de cinco capítulos, distribuidos de la siguiente manera: planteamiento metodológico, marco teórico, diseño y construcción, experiencias de funcionamiento y validación de datos, y costos. El primer capítulo se describe el planteamiento del problema, donde se especifican los objetivos del proyecto, así como, la justificación, importancia y limitaciones. El segundo capítulo es el sustento teórico de los variadores de velocidad para el arranque de motores eléctricos de inducción y controlador logico programable (PLC). El tercer capítulo es referido al diseño, descripción de los elementos conformantes y ensamble de los equipos como módulo. El cuarto capítulo, describe el proceso experimental, se detalla los datos obtenidos en tablas y gráficos comparativos. El quinto capítulo, desarrolla los costos del módulo. Finalizando con las conclusiones y recomendaciones del proyecto culminado satisfactoriamente traducidos de los objetivos propuestos.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCIÓN .....	viii
CAPÍTULO I GENERALIDADES .....	1
1. PLANTEAMIENTO TEORICO.....	1
1.1. Título de la tesis.....	1
1.2. Descripción.....	1
1.2.1. Área del conocimiento.....	1
1.2.2. Identificación del problema y alternativas de solución.....	1
1.2.3. Tipo de investigación.....	1
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2. Objetivos específicos .....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4.1. Originalidad .....	3
1.4.2. Importancia .....	3
1.4.3. Actualidad.....	3
1.4.4. Utilidad .....	3
1.4.5. Viabilidad.....	3
1.5. LIMITACIONES .....	4
1.5.1. Limitaciones académicas.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEORICO.....	5
2.1. Introducción .....	5

2.2. Máquinas de inducción. ....	8
2.2.1. Motores eléctricos. ....	8
2.2.2. Clasificación de los motores según tipo de corriente utilizada en su alimentación.....	10
2.2.3. Motores de corriente alterna. ....	11
2.2.4. Constitución del motor asíncrono. ....	12
2.2.5. Arranques del motor de inducción de rotor bobinado. ....	14
2.2.6. Arranques del motor de inducción jaula de ardilla. ....	15
2.2.7. Variación de velocidad de motores de inducción. ....	19
2.3. VARIADOR DE VELOCIDAD. ....	23
2.3.1. FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS DE LA REGULACIÓN ELECTRÓNICA DE VELOCIDAD EN MOTORES. ....	25
2.3.2. TECNOLOGÍAS DE CONTROL ESCALAR Y VECTORIAL APLICADO AL MOTOR DE INDUCCIÓN. ....	29
2.4. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES. ....	39
2.4.1. Estructura general de los PLCs. ....	40
2.4.2. Componentes de hardware. ....	41
2.4.3. Tipos de PLCs. ....	43
2.4.4. Principio de funcionamiento. ....	45
CAPÍTULO III.....	47
3.    DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO.....	47
3.1. COMPOSICIÓN .....	47
3.1.1. ANALIZADOR DE REDES .....	47
3.1.2. CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE PLC.....	49
3.1.3. VARIADOR DE FRECUENCIA .....	49
3.1.4. FUENTE DE ALIMENTACIÓN .....	50
3.1.5. MOTOR ELECTRICO TRIFASICO .....	51

3.1.6.	ELEMENTOS DE CONTROL.....	52
3.1.7.	DISEÑO DE MODULO DE ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTORES DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA. ....	55
CAPÍTULO IV .....		57
4.	EXPERIENCIAS DE FUNCIONAMIENTO Y VALIDACION DE DATOS ..	57
4.1.	PROCEDIMIENTO DE USO DE MÓDULO DE ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTORES DE INDUCCIÓN POR CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC .....	57
4.1.1.	Objetivo General.....	57
4.1.2.	Objetivos Específicos.....	57
4.1.3.	ENERGIZACIÓN.....	58
4.1.4.	ARRANQUE DIRECTO DE MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA POR CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE. ....	58
4.2.	PROGRAMACIÓN DE VARIADOR DE VELOCIDAD ATV 28 DE SCHNEIDER ELECTRIC.....	81
4.2.1.	Objetivo General.....	81
4.2.2.	Objetivos Específicos.....	81
4.2.3.	ENERGIZACION.....	81
4.2.4.	ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA.....	81
4.3.	ANÁLISIS DE DATOS DE ARRANQUE TRADICIONAL VS ARRANQUE ELECTRÓNICO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO .....	90
4.3.1.	ARRANQUE DIRECTO DE MOTOR DE INDUCION TRIFASICO JAULA DE ARDILLA.....	90
4.3.2.	ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO.....	93
CAPÍTULO V.....		96
5.	COSTOS .....	96

5.1. DEFINICIONES .....	96
5.1.1. ELEMENTOS DE UN PRODUCTO.....	96
5.2. Materiales:.....	97
5.3. Mano de obra: .....	97
5.3.1. Costos indirectos de fabricación (CIF): .....	98
5.4. COSTOS UNITARIOS.....	98
CONCLUSIONES .....	101
RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFIA .....	103
ANEXOS .....	106
ANEX0 A: CURVA DE PAR Y CORRIENTE POR ROTACION MOTOR WEG...	107
ANEX0 B: CURVA DE DESEMPEÑO EN CARGA MOTOR WEG .....	108
ANEX0 C: CURVA DE PAR Y CORRIENTE POR ROTACION MOTOR WEG ...	109
ANEX0 D: CURVA DECORRIENTE DE ARRANQUE DIRECTO DE MOTOR DE INDUCCION CON ANALIZADOR DE REDES METREL 2989 .....	110
ANEX0 D: CURVA DECORRIENTE DE ARRANQUE CON VARIADOR DE VELOCIDAD DE MOTOR DE INDUCCION CON ANALIZADOR DE REDES METREL 2989 .....	111
ANEX0 E: GUIAS DE PRÁCTICA .....	112
ANEX0 F: MANUAL DE PROGRAMACION VARIADOROR DE FRECUENCIA ALTIVAR 28.....	129
PLANOS.....	151

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características de variación de velocidad.....	20
Tabla 2.2 Clasificación de las cargas respecto al comportamiento del torque .....	31
Tabla 2.3 Ventajas y desventajas del control escalar.....	31
Tabla 2.4 Ventajas y desventajas del control vectorial indirecto .....	32
Tabla 4.1 Requisitos del sistema.....	58
Tabla 4.2 Tabla de entradas y salidas digitales.....	62
Tabla 4.3 Menú de ajustes SEt.....	85
Tabla 4.4 Menú de accionamiento drC .....	86
Tabla 4.5 Menú de asignación de entradas y salidas .....	87
Tabla 4.6 Menú de supervisión SUP .....	87
Tabla 4.7 Tabla de programación de variador de velocidad.....	89
Tabla 4.8 Medición de corrientes de arranque.....	92
Tabla 4.9 Registro de parámetros eléctricos y velocidad de operación de arranque electrónico de motor de inducción.....	93
Tabla 5.1 Costos unitarios de equipos y componentes de módulo .....	99
Tabla 5.2 Costo total de módulo didáctico .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Flujo de potencia de un motor .....	8
Figura 2.2 Circuito equivalente .....	9
Figura 2.3 Circuito equivalente exacto de un motor de inducción trifásico .....	10
Figura 2.4 Motor asíncrono .....	11
Figura 2.5 Efecto de campo giratorio sobre una espira en cortocircuito .....	12
Figura 2.6 Estator y rotor de motor eléctrico asíncrono .....	12
Figura 2.7 Despiece de rotor bobinado .....	13
Figura 2.8 Sección de un motor eléctrico asíncrono de jaula de ardilla .....	14
Figura 2.9 Arranque por resistencia en el rotor .....	14
Figura 2.10 Circuito de potencia y mando de arranque directo .....	16
Figura 2.11 Circuito de potencia y mando para el arranque estrella - triangulo.....	17
Figura 2.12 Comparación de la corriente de arranque suave y arranque directo.....	19
Figura 2.13 Tensión Vs frecuencia .....	21
Figura 2.14 Torque Vs Frecuencia .....	22
Figura 2.15 Potencia Vs Frecuencia .....	22
Figura 2.16 Variador de frecuencia Altivar 28 de Telemecanique.....	23
Figura 2.17 Principio de funcionamiento .....	24
Figura 2.18 Control manual de velocidad.....	25
Figura 2.19 Rectificador trifásico de media onda.....	26
Figura 2.20 Rectificador de onda completa. Puente de Graez.....	27
Figura 2.21 Etapa intermedia y ondulator.....	28
Figura 2.22 Principales métodos de control de variadores de frecuencia.....	30
Figura 2.23 Características par-velocidad con control por relación .....	33
Figura 2.24 Variación requerida de voltaje /frecuencia para mantener una zona de par constante .....	34
Figura 2.25 Curvas par - velocidad para velocidades mayores de la velocidad base (velocidad constante) .....	35
Figura 2.26 Curva característica de un motor de inducción de 6 polos con control escalar .....	35
Figura 2.27 Convertidor de voltaje con salida de inversor de voltaje PWM.....	36
Figura 2.28 Estructura general de PLCs .....	40
Figura 2.29 Componentes de hardware .....	42

Figura 2.30 Ciclo de operación de un PLC .....	46
Figura 3.1 Analizador de redes SENTRON PAC 4200 .....	47
Figura 3.2 Tipo de conexión 3P4W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente .....	48
Figura 3.3 Tipo de conexión 3P4W, con transformador de tensión, con tres transformadores de corriente .....	48
Figura 3.4 Controlador lógico programable Siemens Simatic S7 - 1200 .....	49
Figura 3.5 Variador de velocidad ATV 28 Schneider Electric .....	49
Figura 3.6 Fuente de alimentación de corriente continua Schneider Electric .....	50
Figura 3.7 Partes de fuente de corriente continua .....	50
Figura 3.8 Motor eléctrico WEG 1.5 Hp .....	51
Figura 3.9 Placa de identificación para carcasas 63 a 132 .....	51
Figura 3.10 Interruptor automático de fuerza y mando .....	52
Figura 3.11 Guarda motor con contacto auxiliar .....	53
Figura 3.12 Contactor Siemens SIRUS .....	53
Figura 3.13 Temporizador análogo a la conexión .....	54
Figura 3.14 Módulo arranque electrónicos de motores de inducción .....	56
Figura 4.1 Partes de PLC SIMATIC S7- 1200 .....	60
Figura 4.2 Vista de portal .....	61
Figura 4.3 Vista de proyecto .....	61
Figura 4.4 Icono de TIA PORTAL .....	62
Figura 4.5 Software TIA PORTAL V14 .....	63
Figura 4.6 Portal de inicio de software .....	63
Figura 4.7 Crear proyecto .....	64
Figura 4.8 Creando proyecto .....	64
Figura 4.9 Primer paso, proyecto creado .....	65
Figura 4.10 Ventana de dispositivos y redes .....	65
Figura 4.11 Ventana de selección de CPU .....	66
Figura 4.12 Vista de proyecto creado .....	66
Figura 4.13 Árbol del proyecto .....	67
Figura 4.14 Tabla de variable estándar .....	67
Figura 4.15 Resultado de tabla de variables estándar .....	68
Figura 4.16 Selección de programación KOP .....	68
Figura 4.17 Editor de programación .....	69

Figura 4.18 Barra de instrucciones de uso frecuente o favoritas .....	69
Figura 4.19 Contactos y bobinas de programación.....	70
Figura 4.20 Inserción de variables a contactos y bobinas.....	71
Figura 4.21 Borrado de segmento 2.....	71
Figura 4.22 Resultado final de programación.....	72
Figura 4.23 Compilado de programa .....	72
Figura 4.24 Compilado correcto del programa.....	73
Figura 4.25 Ventana guardar programa .....	73
Figura 4.26 Propiedades de PLC_1 .....	74
Figura 4.27 Ajuste de dirección IP y máscara subred en el proyecto.....	74
Figura 4.28 Asignación de dirección IP y Mascara subred a PC.....	75
Figura 4.29 Icono de descarga en dispositivo.....	75
Figura 4.30 Selección de destino y carga avanzada.....	76
Figura 4.31 Advertencia de asignar IP.....	77
Figura 4.32 Ventana de agregado de dirección IP adicional .....	77
Figura 4.33 Vista preliminar de carga .....	78
Figura 4.34 Ventana de carga de confirmación .....	78
Figura 4.35 Resultado de la operación de carga.....	79
Figura 4.36 Establecer conexión de online.....	79
Figura 4.37 Observación y seguimiento de funcionamiento del programa .....	80
Figura 4.38 Panel de programación .....	82
Figura 4.39 Acceso a los menús .....	83
Figura 4.40 Acceso a los parámetros.....	84
Figura 4.41 Circuito equivalente por fase del motor de inducción trifásico WEG 1.5 Hp .....	90
Figura 4.42 Curva voltaje vs frecuencia .....	94
Figura 4.43 Curva velocidad vs frecuencia .....	94
Figura 4.44 Curva corriente de ingreso motor vs velocidad.....	95
Figura 4.45 Curva de corrientes de ingreso a variador de velocidad e ingreso a motor eléctrico vs frecuencia .....	95
Figura 4.1 Partes de PLC SIMATIC S7- 1200 .....	115
Figura 4.2 Vista de portal .....	116
Figura 4.3 Vista de proyecto.....	117
Figura 4.38 Panel de programación .....	121

Figura 4.39 Acceso a los menús ..... 122  
Figura 4.40 Acceso a los parámetros ..... 123



## CAPÍTULO I GENERALIDADES

### 1. PLANTEAMIENTO TEORICO

#### 1.1. Título de la tesis.

“DISEÑO E IMLEMENTACION DE UN MODULO DIDÁCTICO PARA EL ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN POR CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)”

#### 1.2. Descripción.

##### 1.2.1. Área del conocimiento.

El proyecto de tesis se orienta principalmente en el área general de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica específicamente en el laboratorio de máquinas eléctricas para la realización de trabajos experimentales.

##### 1.2.2. Identificación del problema y alternativas de solución.

Con el fin de que la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica este a la vanguardia del avance tecnológico y la automatización y en vista que no cuenta con el equipamiento para realizar prácticas concernientes al arranque electrónico de motores eléctricos de inducción por controlador lógico programable (PLC). Se tiene la necesidad de implementar con equipamiento adecuado para efectuar este tipo de ensayo.

En conocimiento de estas limitaciones se propone plantear como proyecto de tema de tesis un módulo didáctico para el arranque electrónico de motores eléctricos de inducción por controlador lógico programable (PLC).

##### 1.2.3. Tipo de investigación.

El desarrollo del tipo de investigación es experimental, porque se desarrollara pruebas reales de funcionamiento del módulo de arranque electrónico de motores de inducción por controlador lógico programable PLC, permitiendo comprobar y reforzar los conocimientos adquiridos en los cursos teóricos en el área de las Máquinas Eléctricas, familiarizando al alumno en la comprensión y

definición de los conceptos básicos referente al arranque de motores eléctricos de inducción.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Efectuar el diseño, implementación y posterior análisis de un módulo didáctico para el arranque electrónico de motores eléctricos de inducción por controlador lógico programable (PLC).

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Diseñar e implementar el módulo didáctico desarrollando un conjunto de guías de prácticas para la utilización del módulo.
2. Contribuir en la implementación de los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN.**

Con frecuencia, los motores eléctricos se encuentran en primera línea de los sistemas de producción modernos. Sin duda, los motores que vemos en la actualidad se han beneficiado del avance de los materiales eléctricos, las eficiencias de fabricación y las herramientas analíticas. Y el rendimiento notable de estos motores en las aplicaciones actuales se debe al uso de controles electrónicos modernos como son los variadores de frecuencia (Corporación ABB, 2019).

Ante este precedente surge la necesidad de implementar y posterior análisis de un módulo didáctico para el arranque electrónico de motores eléctricos de inducción por controlador lógico programable (PLC).

Contribuir en la actualización de los conocimientos recientes de tecnologías de continuo desarrollo y en beneficio del medio ambiente mediante la eficiencia energética que estos equipos presentan.

El módulo didáctico permitirá conocer y demostrar sobre los cambios dados en la industria en la implementación variadores de velocidad para el arranque de motores eléctricos en los diferentes tipos de procesos comparando con los arranques

tradicionales, buscando el rendimiento máximo de un motor eléctrico con el menor consumo posible (Zamora & Urbina, 2016).

#### **1.4.1. Originalidad**

El módulo didáctico cuenta con tres equipos fundamentales para las diferentes etapas: etapa de medición, etapa de control y etapa de arranque electrónico de motores de inducción de jaula de ardilla.

#### **1.4.2. Importancia**

El módulo didáctico de arranque electrónico de motores de inducción de jaula de ardilla permite conocer el entorno de programación y configuración en los variadores de velocidad y controladores lógicos programables (PLC).

#### **1.4.3. Actualidad**

El laboratorio de electricidad y maquinas eléctricas no cuenta con el módulo de arranque de motores trifásicos de inducción de jaula de ardilla.

#### **1.4.4. Utilidad**

Integración de un módulo de arranque electrónico de motores de inducción de jaula de ardilla permitiendo relacionar los arranque tradicionales realizado en el laboratorio de máquinas eléctricas.

#### **1.4.5. Viabilidad**

El proyecto reúne características académicas, condiciones técnicas y operativas que aseguran el cumplimiento de los objetivos planteados, además contamos con los recursos tecnológicos para la fabricación de este módulo, financiamiento, tiempo para el desarrollo de la investigación y conocimientos metodológicos para orientar con propiedad el proyecto.

## 1.5. LIMITACIONES

### 1.5.1. Limitaciones académicas.

El presente trabajo de investigación, la operación del variador de velocidad está permitido para motores de hasta 3 Kw de potencia.

Previos conocimientos para la programación y configuración avanzada del controlador lógico programable (PLC) y variador de velocidad.



## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Introducción

Los motores eléctricos juegan un papel muy importante en la industria, ya que controlan básicamente todo lo que necesitamos.

Todos estos motores funcionan con electricidad y necesitan una cantidad determinada de energía eléctrica para poder realizar su trabajo de proporcionar potencia y velocidad.

La velocidad de un motor debería coincidir exactamente con la que exige el proceso en cuestión, y usar solo la energía necesaria, es aquí donde los variadores de velocidad completan la ecuación para poder usar los motores a velocidades variables sin disminuir su eficiencia (Reportero Industrial, 2018).

El variador de frecuencia regula la velocidad de motores eléctricos para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor entre un 20 y un 70% (Corporación ABB, 2019).

Un variador de frecuencia por definición es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento.

Los variadores reducen la potencia de salida de una aplicación, como una bomba o un ventilador, mediante el control de la velocidad del motor, garantizando que no funcione a una velocidad superior a la necesaria (Reportero Industrial, 2018).

El uso de variadores de frecuencia para el control inteligente de los motores tiene muchas ventajas financieras, operativas y medioambientales ya que supone una mejora de la productividad, incrementa la eficiencia energética y a la vez alarga la vida útil de los equipos, previniendo el deterioro y evitando paradas inesperadas que provocan tiempos de improductividad.

El variador de frecuencia también es conocido como convertidor de frecuencia de corriente alterna, convertidor de velocidad variable, variador de velocidad, VSD,

VFC o VFD por sus siglas en inglés o simplemente variador o convertidor. A menudo hay confusiones sobre la diferencia entre variador de velocidad y variador de frecuencia o convertidor de frecuencia. Si tomamos como referencia las siglas más ampliamente usadas a nivel internacional (“VFD” del inglés “Variable Frequency Drive”), y lo traducimos literalmente, nos conduciría a “Accionamiento de Frecuencia Variable”. Sin embargo, los términos más utilizados actualmente en nuestro país son variador de velocidad y variador de frecuencia.

Los variadores funcionan mediante la conversión de alimentación de CA de frecuencia fija en frecuencia variable, variable de tensión de alimentación de CA (Corporación ABB, 2019).

Las principales ventajas de usar un variador de velocidad electrónico son:

1. Control de procesos preciso mediante un control de la velocidad gradual que puede regularse sin ningún límite.
2. Protección contra fallos para el motor y los cables.
3. Arranque y paro suaves para evitar daños mecánicos en el proceso.
4. Mantenimiento reducido gracias al arranque suave.
5. Amplios intervalos de velocidad, par y potencia para un control de la velocidad precisión, y en consecuencia la optimización del proceso y la mejora de la calidad del producto.
6. El factor de potencia mejorado ayuda a mantener la eficiencia del motor con carga reducida.

Protección electromagnética contra interferencias con otros equipos sensibles

7. Incremento de la producción gracias a una velocidad del motor adaptada (Valencia Caceres, 2002).

El rango normal de operación de un motor de inducción está confinado a menos de 5% de deslizamiento, es decir, la máxima reducción de velocidad es normalmente -

5% la velocidad nominal, y la variación de velocidad en ese rango es casi directamente proporcional a la carga sobre el eje del motor.

En otras palabras, si solo se pone en marcha un motor de inducción a una carga dada, funcionará a una misma velocidad. Para el motor de inducción, existen dos métodos en forma general para controlar su velocidad:

1. Variando la velocidad síncrona (velocidad de los campos magnéticos del rotor y del estator) puesto que la velocidad del rotor siempre permanece cerca de la síncrona.
2. Variando el deslizamiento del motor para una carga dada (es decir, variando la curva Torque-velocidad del motor a una misma frecuencia de alimentación).

Es importante mencionar que cuando el deslizamiento es mayor, la eficiencia del motor es pobre puesto que las pérdidas en el cobre del rotor son directamente proporcionales al deslizamiento del motor.

La velocidad síncrona de un motor de inducción está dada por:

$$\eta_{snc} = \frac{120 * f}{P}$$

Donde:

- $\eta_{snc}$  : Velocidad síncrona de un motor de inducción  
 $f$  : Frecuencia eléctrica de línea.  
 $P$  : Número de polos.

Por lo tanto, las únicas formas de variar la velocidad síncrona de la máquina son:

1. Variando la frecuencia eléctrica
2. Cambiando el número de polos de la máquina

Por otro lado, el control del deslizamiento puede ser llevado a cabo:

1. Variando el voltaje en las terminales del motor.
2. Variando la resistencia del rotor.

En el control escalar se controla la frecuencia y el voltaje al mismo tiempo, para mantener constante el valor del flujo nominal de diseño del motor, mientras que en

el control vectorial también, pero adicionalmente usa el modelo dinámico del motor de inducción, que le permite hacer un control mejorado y de gran precisión.

En este estudio, en ambos métodos de control de velocidad (escalar y vectorial) se usa un inversor de voltaje para generar tanto la amplitud de voltaje como la frecuencia de la señal senoidal que alimenta al motor de inducción (Espinoza, 2017, pp. 6-7).

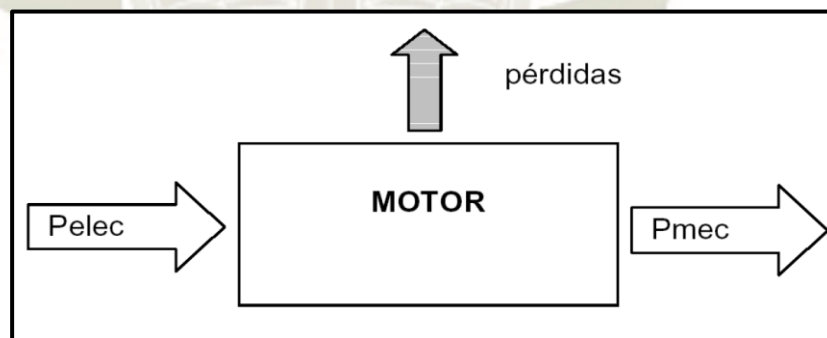
## 2.2. Máquinas de inducción.

Se llaman máquinas de inducción porque su principio de funcionamiento está en la ley de Faraday (tensión inducida).

### 2.2.1. Motores eléctricos.

Los motores eléctricos son aquellos que proporcionan potencia para realizar un trabajo. Las máquinas eléctricas sirven para transformar la energía mecánica en eléctrica (generadores) o, inversamente, para transformar la energía eléctrica en mecánica (motores); es decir que las máquinas eléctricas son reversibles y pueden trabajar como generador o como motor (López, 2013).

*Figura 2.1 Flujo de potencia de un motor*



Fuente: (López, 2013)

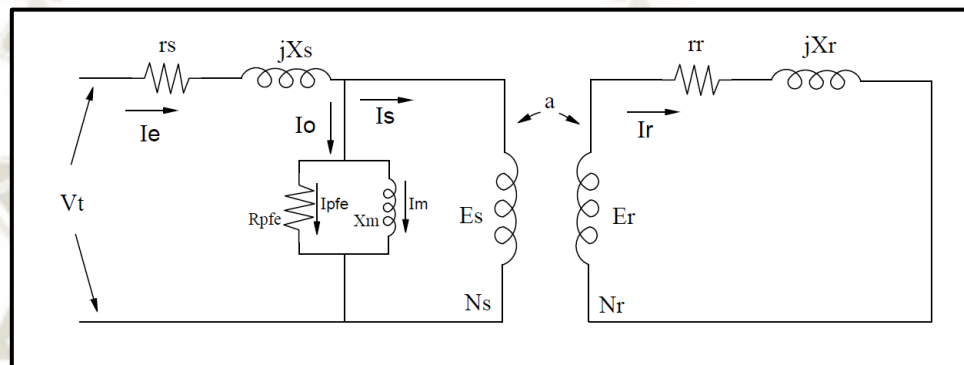
Existen una variedad de tipos de motores y diversidad de aplicaciones que se van desarrollando cada vez más. Su aplicación es muy variada: ventiladores, bombas, máquinas modulares de alta complejidad, máquinas que funcionan con una precisión y un par de velocidad muy bajos, máquinas dinámicas sofisticadas, máquinas de gran capacidad, etc (López, 2013).

### 2.2.1.1. Circuito equivalente.

La máquina de inducción es muy semejante a un transformador cuyo primario es análogo al estator y cuyo secundario es análogo al rotor.

Suponiendo que el rotor está parado ( $s=1$ ) deslizamiento igual a 1 podemos construir un circuito equivalente monofásico igual al del transformador, tal como se indica en la figura 2.2 (Bhag & Hüseyin, 2003).

**Figura 2.2 Circuito equivalente**



Fuente: Elaboración propia

$V_t$ : Voltaje aplicado por fase.

$r_s$ : Resistencia por fase del devanado del estator

$jX_s$ : Reactancia de dispersión por fase de devanado del estator.

$R_{pfe}$ : Resistencia de pérdidas en el Fe.

$X_m$ : Reactancia de magnetización por fase.

$E_s$ : Fem inducida por fase en el devanado del estator

$I_e$ : Corriente por fase de entrada.

$I_o$ : Corriente de pérdidas.

$I_s$ : Corriente del estator.

$E_r$ : Fem inducida por fase en el devanado del rotor con deslizamiento  $S$

$r_r$ : Resistencia por fase del devanado del rotor

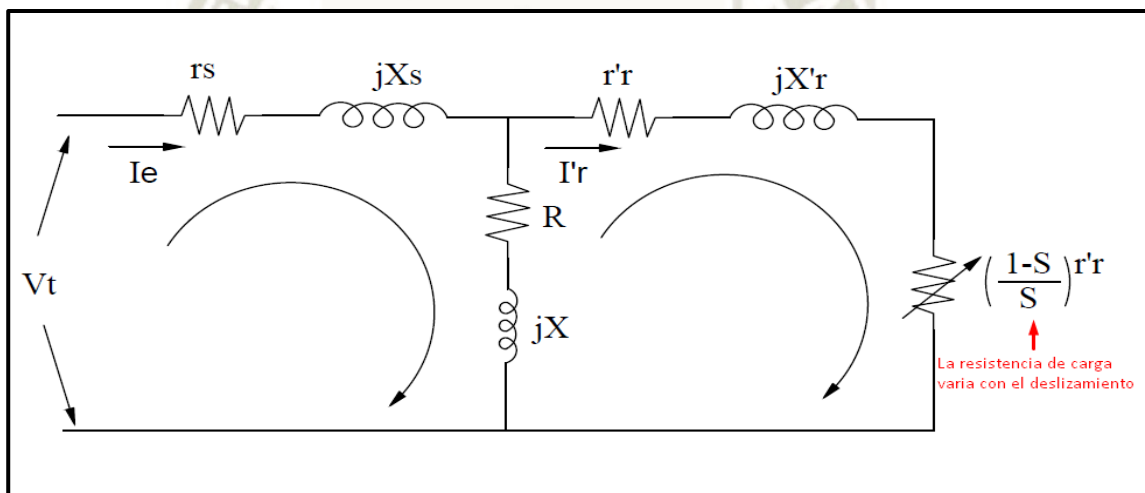
$jX_r$ : Reactancia de dispersión por fase del rotor.

$I_r$ : Corriente por fase en el devanado del rotor.

La resistencia de carga depende de la velocidad del motor y se dice que representa la carga sobre el motor porque la potencia mecánica desarrollada por este es proporcional a ella. En otras palabras, la resistencia de la carga es el equivalente eléctrico de la carga mecánica sobre el motor (Bhag & Hüseyin, 2003).

En la figura 2.3 se muestra un circuito equivalente de un motor de inducción en términos de la resistencia de carga. Este circuito es reconocido como el circuito equivalente exacto de un motor de inducción trifásico equilibrado por fase (Bhag & Hüseyin, 2003).

**Figura 2.3 Circuito equivalente exacto de un motor de inducción trifásico**



Fuente: Elaboración propia

## 2.2.2. Clasificación de los motores según tipo de corriente utilizada en su alimentación.

### 2.2.2.1. Motores de corriente continua.

De excitación independiente.

De excitación serie.

De excitación o derivación.

De excitación compuesta.

### 2.2.3. Motores de corriente alterna.

#### 2.2.3.1. Motores síncronos.

##### 2.2.3.1.1. Monofásicos.

De bobinado auxiliar.

De espira en corto circuito.

Universal.

##### 2.2.3.1.2. Trifásicos.

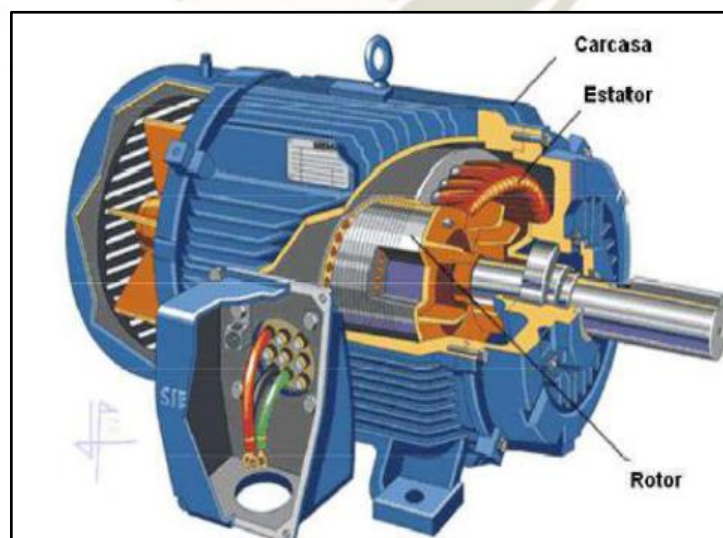
De rotor bobinado.

De rotor en corto circuito.

#### 2.2.3.2. Motores Asíncronos.

Los motores asíncronos tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, corto mantenimiento y bajo coste de fabricación. A continuación en la figura 2.4 se puede observar un motor asíncrono, la carcasa, estator y rotor.

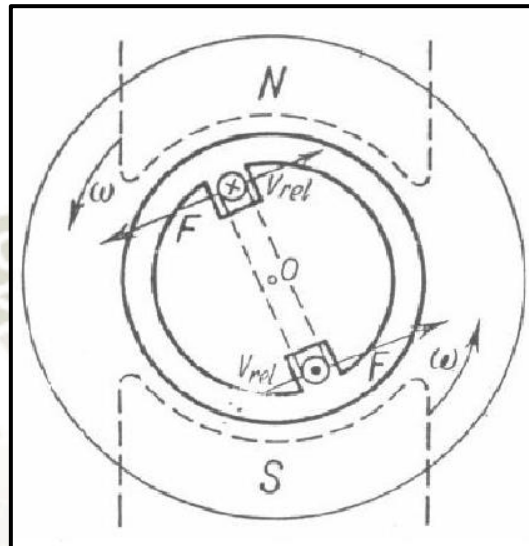
*Figura 2.4 Motor asíncrono*



Fuente: López, 2013

El nombre de motor asíncrono se da a aquellos cuya parte móvil gira a una velocidad distinta a la de sincronismo. Estas máquinas asíncronas tienen su fundamento en el principio de la acción de un campo magnético giratorio sobre un arrollamiento en cortocircuito (López, 2013).

**Figura 2.5 Efecto de campo giratorio sobre una espira en cortocircuito**



Fuente: López, 2013

#### 2.2.4. Constitución del motor asíncrono.

Un motor eléctrico asíncrono está formado por un circuito magnético y dos eléctricos, uno colocado en la parte fija (estator) y otro en la parte móvil (rotor). El circuito magnético está formado por chapas apiladas en forma de cilindro en el rotor y en forma de anillo en el estator (López, 2013).

**Figura 2.6 Estator y rotor de motor eléctrico asíncrono**

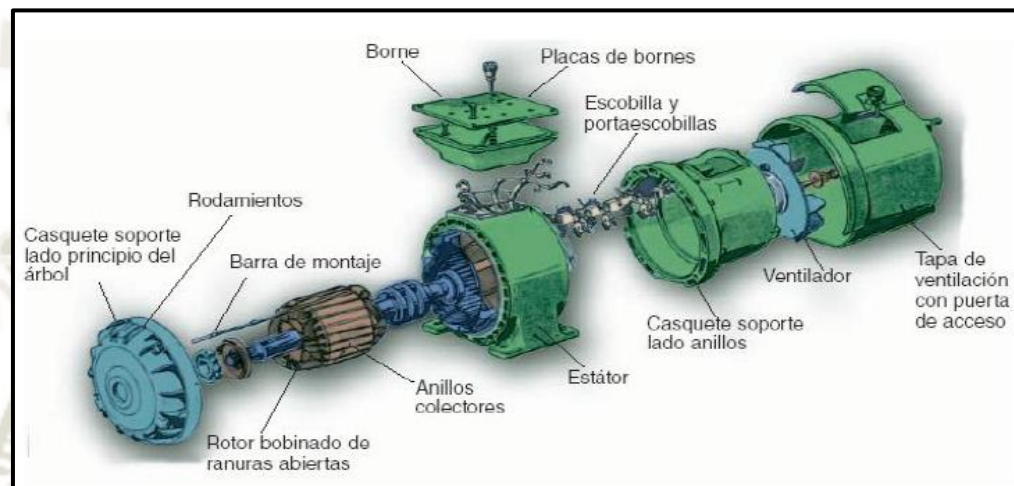


Fuente: López, 2013

#### 2.2.4.1. Motores Asíncronos de rotor bobinado.

Los devanados son similares a los del estator con el que está asociado. El número de fases del rotor no tiene que ser el mismo del estator, lo que si tiene que ser igual es el número de polos. Los devanados del rotor están conectados a anillos colectores montados sobre el mismo eje.2

*Figura 2.7 Despiece de rotor bobinado*



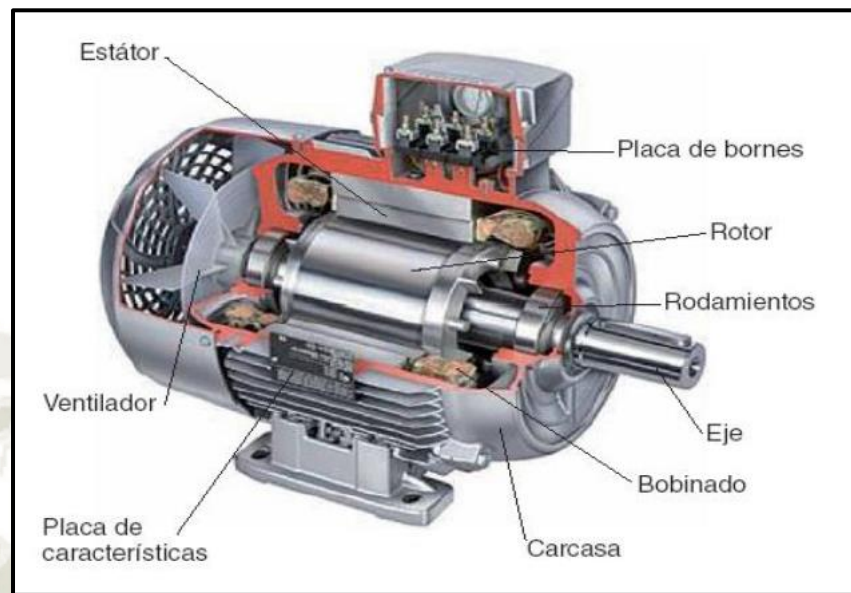
Fuente: López, 2013

La gran ventaja que presentan estos motores es su par de arranque, ya que puede alcanzar hasta 2.5 veces el par nominal, mientras que la intensidad en el arranque es similar a la del par nominal (López, 2013, pp. 31-35).

#### 2.2.4.2. Motores Asíncronos tipo Jaula de ardilla.

El rotor en jaula de ardilla o en corto circuito está construido por un conjunto de chapas apiladas de acero al silicio, formando un cilindro, portando una serie de conductores de cobre o aluminio puestos en cortocircuito por dos anillos laterales, el nombre de jaula proviene del aspecto que tomaría este devanado si se omitiera el apilamiento de hierro (Fraile, 2003).

*Figura 2.8 Sección de un motor eléctrico asíncrono de jaula de ardilla*



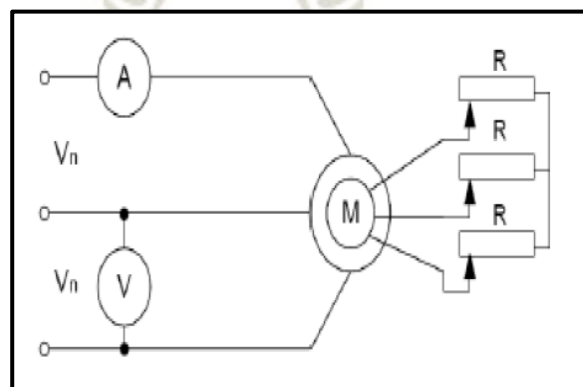
**Fuente:** Chapman, 2000

## 2.2.5. Arranques del motor de inducción de rotor bobinado.

### 2.2.5.1. Arranque intercalando resistencias en el devanado del rotor.

Se efectúa intercalando resistencias en el rotor a través de los anillos rozantes. El incremento de resistencia del rotor permite limitar la corriente de arranque e incrementar el par de arranque. A medida que el motor alcanza velocidad se va reduciendo el valor de las resistencias externas hasta que quedan anuladas (López, 2013).

*Figura 2.9 Arranque por resistencia en el rotor*



**Fuente:** López, 2013

## 2.2.6. Arranques del motor de inducción jaula de ardilla.

Los motores jaula ardilla al ser conectados absorben una gran intensidad de la red y puede, sobre todo si la sección de la línea de alimentación es insuficiente, provocar una caída de tensión susceptible que afectará a otros abonados o a otros receptores de la misma instalación.

Para evitar y limitar estos inconvenientes, la normativa exige a usar sistemas de arranque con los que se límite la corriente de arranque protegiendo así el motor y la integridad de los receptores (López, 2013).

### 2.2.6.1. Arranque Directo.

Consiste en conectar el motor directamente a la red en un único tiempo. El motor arranca con sus características naturales.

Ventajas:

1. Arrancador simple.
2. Económico.
3. Par de arranque elevado.

Inconvenientes:

1. Punta de corriente muy elevado.
2. Arranque violento (López, 2013).

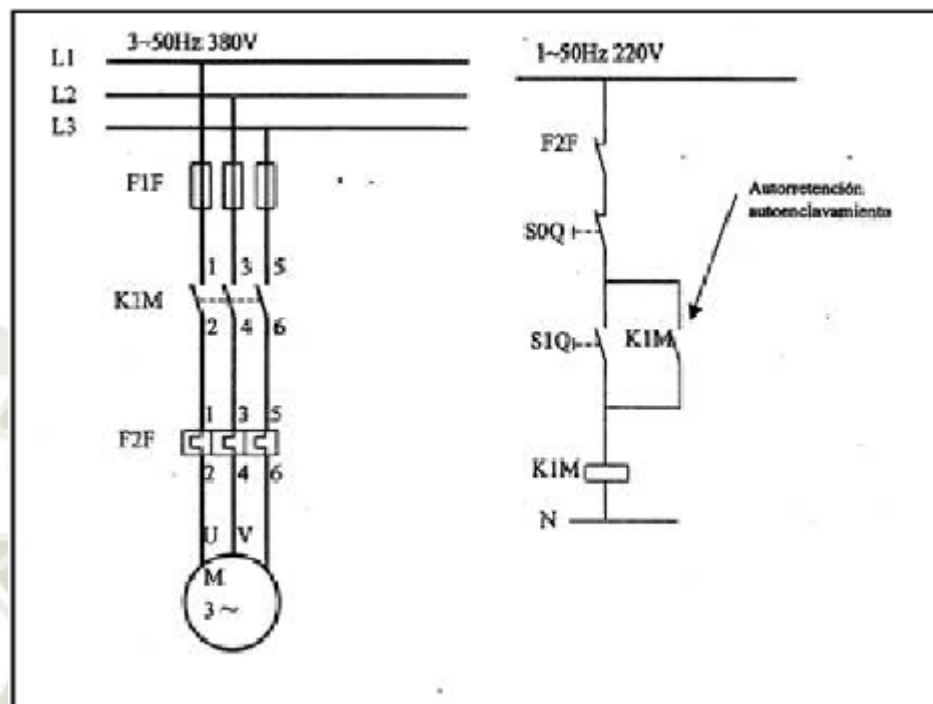
#### 2.2.6.1.1. Tiempos de arranque:

2 a 3 segundos

#### 2.2.6.1.2. Aplicaciones habituales

Pequeñas máquinas aunque arranquen a plena carga.

*Figura 2.10 Circuito de potencia y mando de arranque directo*



Fuente: López, 2013

### 2.2.6.2. Arranque estrella - triángulo de motores trifásicos de jaula.

Consiste en conectar las bobinas del motor primero en estrella y después en triángulo.

Ventajas:

1. Arrancador económico.
2. Buena relación par/corriente.

Inconvenientes:

1. Par de arranque débil.
2. Sin posibilidad de ajuste.
3. Corte de alimentación en el cambio de acoplamiento y fenómenos transitorios.
4. Motor de 6 bornes (López, 2013).

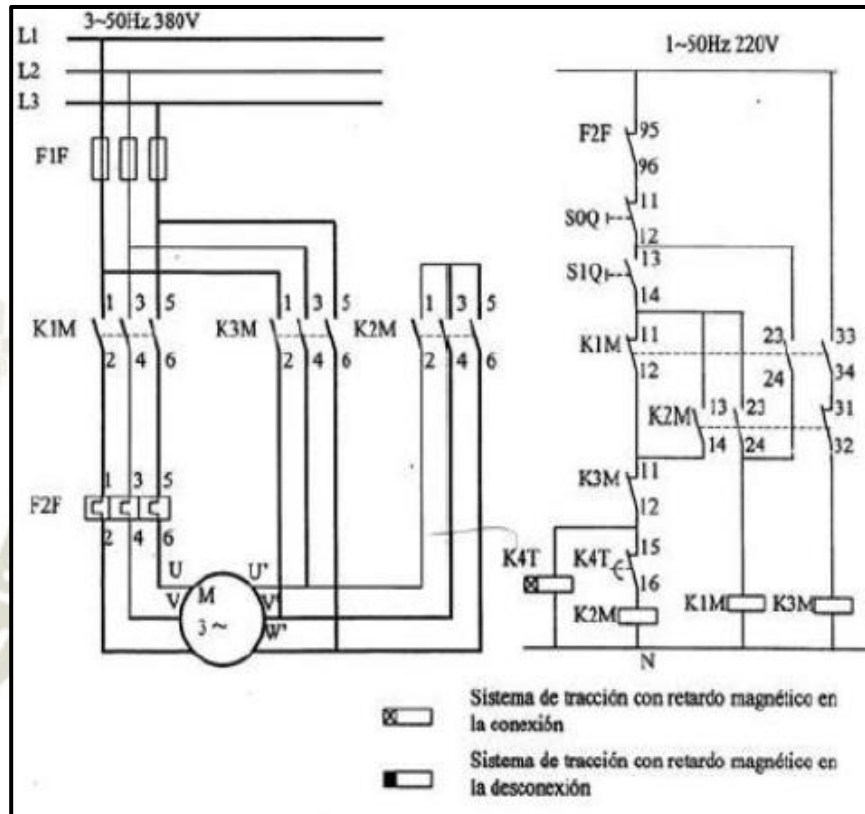
#### 2.2.6.2.1. Tiempos de arranque

3 a 7 segundos.

### 2.2.6.2.2. Aplicaciones habituales

Máquinas de arranque en vacío, ventiladores y bombas centrífugas de poca potencia.

*Figura 2.11 Circuito de potencia y mando para el arranque*



Fuente: López, 2013

### 2.2.6.3. Arranque con resistencias estatóricas.

Consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida mediante la inserción de resistencias en serie con los devanados. Estabilizada la velocidad, las resistencias se eliminan y el motor se acopla directamente a la red.

Ventajas:

1. Posibilidad de ajuste de los valores en el arranque.
2. Sin corte de alimentación durante el arranque.
3. Fuerte reducción de las puntas de corriente transitorias.

Inconvenientes:

1. Débil reducción de la punta de arranque.

2. Necesidad de resistencias voluminosas (López, 2013).

#### **2.2.6.3.1. Tiempos de arranque**

7 a 12 segundos.

#### **2.2.6.3.2. Aplicaciones habituales**

Máquinas de elevada inercia sin problemas especiales de par ni de corriente en el arranque.

#### **2.2.6.4. Arranque con Autotransformador.**

Consiste en alimentar el motor a una tensión reducida mediante un autotransformador, que se pone fuera de servicio cuando termina el arranque.

Ventajas:

1. Buena relación par/corriente.
2. Posibilidad de los ajustes de los valores en el arranque.
3. Sin corte de alimentación en el arranque.

Inconvenientes:

1. Necesidad de un autotransformador costoso.
2. Implica riesgos en redes con perturbaciones.
3. Perdidas de energía
4. Sistema costoso (López, 2013).

#### **2.2.6.4.1. Tiempos de arranque**

5 a 8 segundos.

#### **2.2.6.4.2. Aplicaciones habituales**

Máquinas de elevada potencia o inercia, en casos en los que la reducción de la corriente sea un criterio importante.

#### **2.2.6.5. Arranque con Variador de velocidad.**

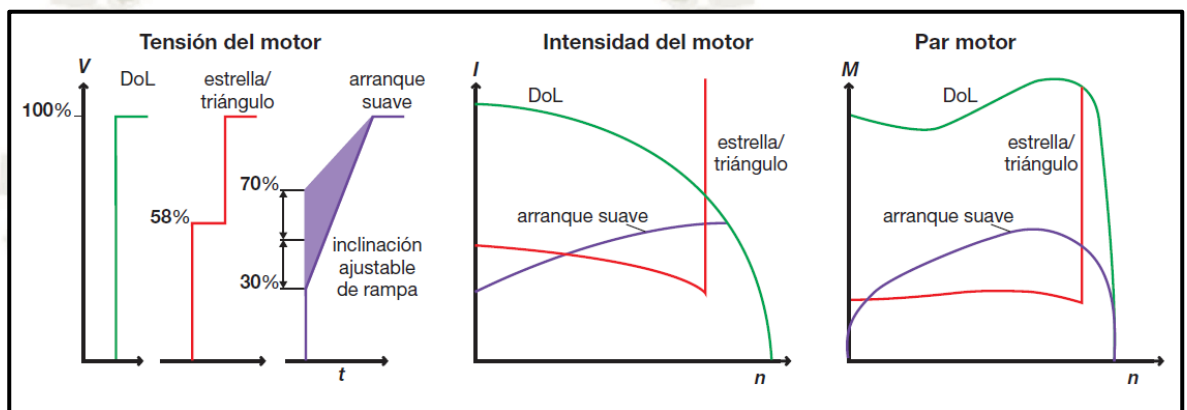
Se realizan basándose en tiristores que forman contactos estáticos. Se configura con un convertidor alterna/continua y un convertidor continua/alterna de velocidad variable entre 0 Hz y la frecuencia de red.

El variador de frecuencia permite la variación de velocidad total desde 0 rpm a la velocidad nominal del motor a par constante.

Permite la ausencia de sobre intensidades por transitorios.

Hace innecesario elementos de protección del motor. A velocidades bajas hay que tener en cuenta que la refrigeración del motor depende de la velocidad del fluido (López, 2013, pp. 37-41).

**Figura 2.12 Comparación de la corriente de arranque suave y arranque directo**



**Fuente:** López, 2013

### 2.2.7. Variación de velocidad de motores de inducción.

La relación entre la rotación, la frecuencia de alimentación, el número de polos y el deslizamiento de un motor de inducción obedece a la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{(120 * f_1 * (1-s))}{P}$$

Donde:

$\eta$  : Velocidad de rotación mecánica (rpm).

$f_1$  : Frecuencia fundamental de la tensión de alimentación (Hz).

$P$  : Número de polos.

$s$  : Deslizamiento.

El análisis de la fórmula demuestra que se puede actuar en tres parámetros, con el intento de variar la velocidad de un motor de este tipo, según se verifica en la tabla abajo. La tabla 2.1 presenta las características de cada opción.

**Tabla 2.1 Características de variación de velocidad**

<b>Variación de velocidad</b>	
<b>Parámetro de variación de velocidad</b>	<b>Características de aplicación</b>
<b>Numero de polos</b>	<b>Variación discreta</b>
	<b>Sobredimensionamiento de la carcasa</b>
<b>Deslizamiento</b>	<b>Variación continua</b>
	<b>Perdidas del rotor</b>
	<b>Rango de variación pequeña</b>
<b>Frecuencia de la tensión del estator</b>	<b>Variación continua</b>
	<b>Uso de convertidores de frecuencia</b>

**Fuente:** López, 2013

La utilización de convertidores estáticos de frecuencia actualmente comprende el método más eficiente para controlar la velocidad de los motores de inducción. Los convertidores transforman la tensión de la red, de amplitud y frecuencia constantes, en una tensión de amplitud y frecuencia variables. Con la variación de la frecuencia de la tensión de alimentación, se varía también la velocidad del campo girante y consecuentemente la velocidad mecánica de rotación de la máquina.

El par desarrollado por el motor de inducción sigue la ecuación:

$$T = K_1 * \Phi_m * I_2$$

Donde:

$T$  : Par o conjugado disponible en la punta de eje (N.m)

$\Phi_m$  : Flujo de magnetización (Wb)

$I_2$  : Corriente rotórica (A) depende de la carga.

$K_1$  : Constantes que dependen del material y del diseño de la máquina.

Y su flujo de magnetización, despreciándose la caída de tensión ocasionada por la resistencia y por la reactancia de los devanados estáticos.

$$\Phi_m = K_2 * \frac{V_1}{f_1}$$

Donde:

$\Phi_m$  : Flujo de magnetización (Wb)

$V_1$  : Tensión estática (V)

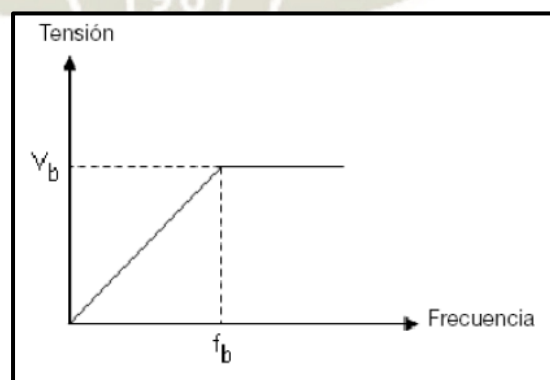
$f_1$  : Frecuencia de la tensión de alimentación (hz)

$K_2$  : Constante que dependen del material y del diseño de la máquina.

Admitiéndose, que la corriente depende de la carga y que esta es constante, se nota, que variando igualmente la amplitud y la frecuencia de la tensión de alimentación, el flujo y, consecuentemente, el par permanecen constantes. El motor entonces provee un ajuste continuo de velocidad y par con relación a la carga mecánica.

Las pérdidas pueden ser minimizadas de acuerdo con las condiciones de carga, manteniéndose constante el deslizamiento de la máquina en cualquier velocidad, para la misma carga.

**Figura 2.13 Tensión Vs frecuencia**

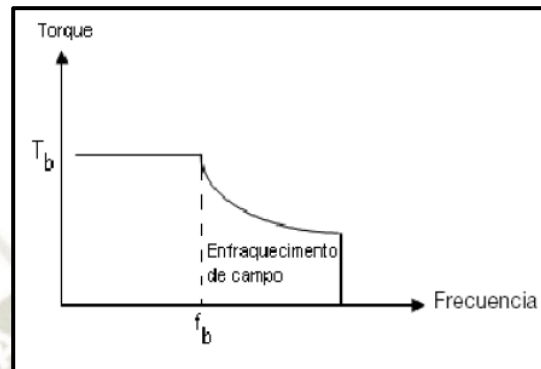


**Fuente:** López, 2013

La variación de la relación  $V_1/f_1$  es hecha linealmente hasta la frecuencia base (nominal) del motor. Arriba de esta, la tensión es máxima (igual a la nominal) y permanece constante, habiendo entonces solamente la variación de la frecuencia

aplicada al devanado estático del motor, según representado en la figura 2.13. Arriba de la frecuencia base se caracteriza la llamada región de enflaquecimiento de campo, pues allí el flujo decrece con el aumento de la frecuencia, causando también la disminución de par.

**Figura 2.14 Torque Vs Frecuencia**

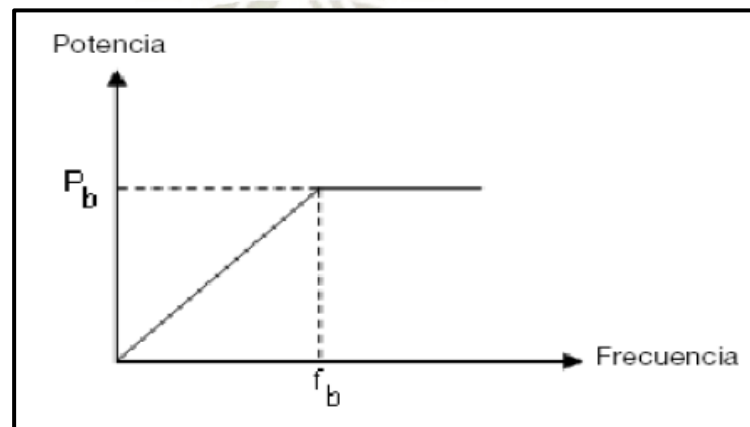


**Fuente:** López, 2013

En la figura 2.14 el par permanece constante hasta la frecuencia base y decrece gradualmente arriba de esta. Como potencia = par por rotación, la potencia útil del motor crece linealmente hasta la frecuencia base y permanece constante arriba de esta, según se puede observar abajo.

No por acaso ha crecido significativamente el número de aplicaciones en que la variación de velocidad de motores de inducción es realizada por medio de convertidores electrónicos estáticos de frecuencia (López, 2013, pp. 29-32).

**Figura 2.15 Potencia Vs Frecuencia**



**Fuente:** López, 2013

### 2.3. VARIADOR DE VELOCIDAD.

Los variadores de velocidad (VSD, por sus siglas en inglés Variable Speed Drive) son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y el par de los motores asincrónicos trifásicos.

*Figura 2.16 Variador de frecuencia Altivar 28 de Telemecanique*

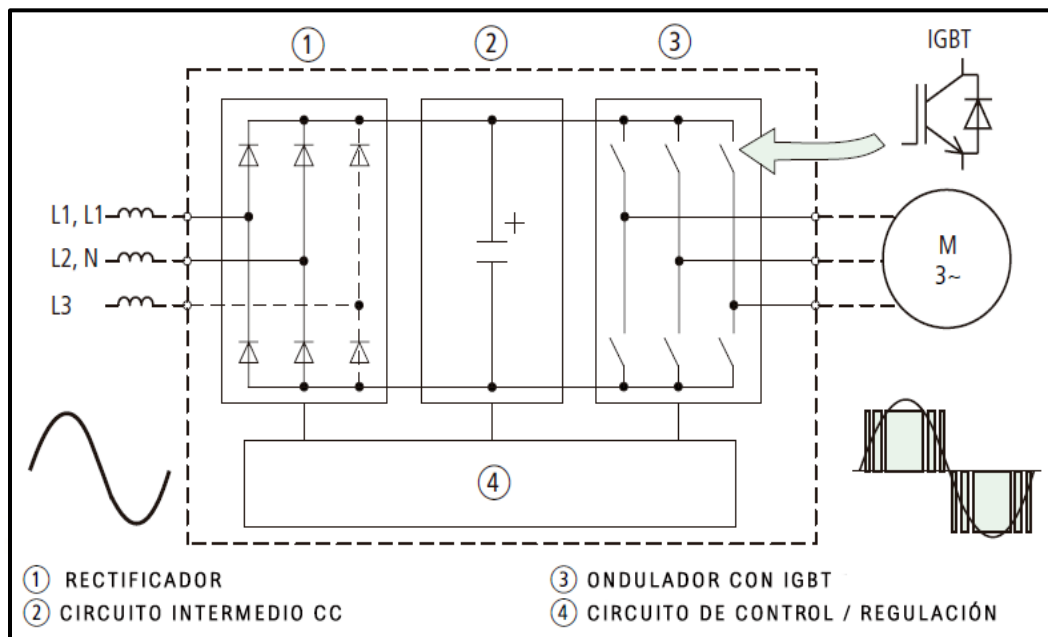


Fuente: Elaboración propia

Básicamente, un VSD toma el voltaje de la línea de CA, lo convierte en voltaje de CC, filtra el voltaje de CC y, a continuación, invierte de nuevo la señal. Ese valor RMS de esta inversión simula un voltaje de CA. La frecuencia de salida del variador está normalmente entre 0 y la frecuencia de línea de entrada de CA. También son posibles frecuencias superiores a la de CA nominal cuando se requiere para determinadas aplicaciones (Allen-Bradley, 2019).

Rockwell Automation y otras marcas ofrece muchas variaciones de variadores, desde volts por Hertz, la más habitual, hasta el complejo control vectorial, que proporciona un excelente rendimiento a velocidad baja/velocidad cero, y una precisa regulación del par y la velocidad (Allen-Bradley, 2019).

*Figura 2.17 Principio de funcionamiento*



Fuente: Aurodrives, 2019

El modo de trabajo puede ser manual o automático, según las necesidades del proceso, dada la enorme flexibilidad que ofrecen los reguladores de velocidad, permitiendo hallar soluciones para obtener puntos de trabajo óptimos en todo tipo de procesos, pudiendo ser manejados por ordenador, PLC, señales digitales o de forma manual (Academia.edu, 2019).

La mayoría de las marcas incluyen dentro del propio convertidor protecciones para el motor, tales como protecciones contra sobre intensidad, sobre temperatura, fallo contra desequilibrios, defectos a tierra, etc, además de ofrecer procesos de arranque y frenados suaves mediante rampas de aceleración, lo que redundará en un aumento de la vida del motor y las instalaciones (Academia.edu, 2019).

Como debe saberse, el uso de convertidores de frecuencia añade un enorme potencial para el ahorro de energía disminuyendo la velocidad del motor en muchas aplicaciones. Además aportan los siguientes beneficios:

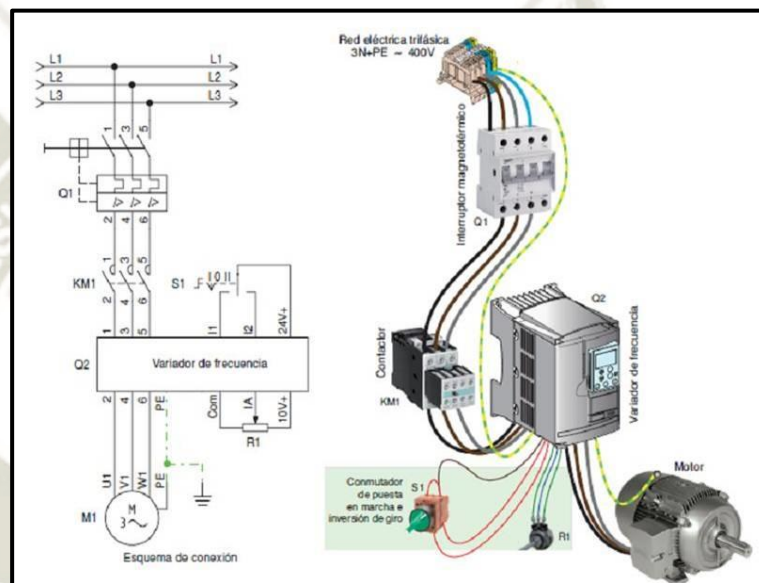
1. Mejora el proceso de control y por lo tanto la calidad del producto.
2. Se puede programar un arranque suave, parada y freno (funciones de arrancador progresivo).
3. Amplio rango de velocidad, par y potencia. Bucles de velocidad.

4. Puede controlar varios motores.
5. Factor de potencia cercano al unitario.
6. Protección integrada del motor (Academia.edu, 2019).

Los convertidores suelen permitir dos tipos de control:

**Control manual de velocidad.** La velocidad puede ser establecida o modificada manualmente (display de operador). Posibilidad de variación en el sentido de giro.

*Figura 2.18 Control manual de velocidad*



Fuente: Pinterest, 2019

**Control automático de velocidad.** Utilizando realimentación se puede ajustar la velocidad automáticamente. Esta solución es la ideal para su instalación en aplicaciones en las que la velocidad demandada varía de forma continua (Academia.edu, 2019).

### 2.3.1. FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS DE LA REGULACIÓN ELECTRÓNICA DE VELOCIDAD EN MOTORES.

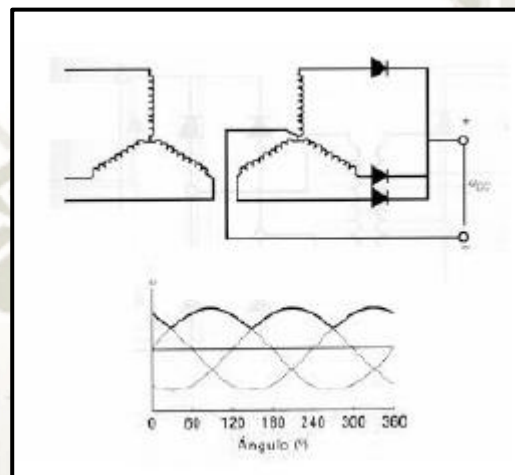
#### 2.3.1.1. Rectificadores.

Rectificadores no controlados de tensión fija; el fenómeno de la rectificación se da porque los diodos van conmutando cíclicamente al circuito de cc sobre las fases de ca. Es la tensión de esta red la que va forzando el paso a conducción o bloqueo de los diodos, a esta conmutación se le llama forzada.

Si sólo se rectifican las semiondas positivas de la tensión alterna tenemos un montaje de media onda y si se rectifican ambas semiondas, tenemos un montaje de onda completa.

En los montajes de media onda la tensión no es continua pura, ya que exhibe cierto grado de rizado u oscilación en torno a su valor medio (Academia.edu, 2019).

**Figura 2.19 Rectificador trifásico de media onda**

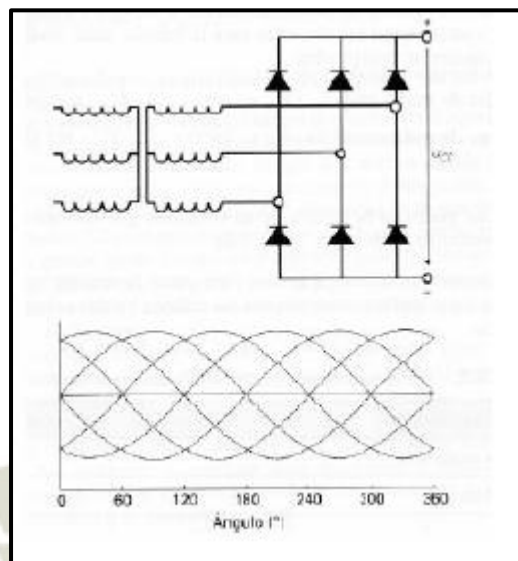


Fuente: Academia.edu, 2019

Los diodos que conducen en cada momento son aquellos en los que la tensión de la fase en la que van conectados supera a la de las otras dos.

El rectificador trifásico de onda completa o puente de Graetz, está formado por seis diodos y tiene la ventaja del menor rizado. Este puente es de los más empleados en las aplicaciones industriales de potencia (Academia.edu, 2019).

*Figura 2.20 Rectificador de onda completa. Puente de Graetz*



Fuente: Academia.edu, 2019

Rectificadores controlados de tensión variable son similares a los anteriores, cambiando los diodos por semiconductores controlables, que normalmente son tiristores, así lograremos que la tensión de salida sea variable y con prestaciones más interesantes debido a esta circunstancia.

El puente trifásico de onda completa o de Graetz es el más empleado desde el punto de vista industrial, ya que tiene las siguientes ventajas:

1. Cargamos simétricamente la línea trifásica.
2. Se absorben menos armónicos de intensidad en la línea trifásica.
3. La tensión continua es de rizado con menor amplitud y por tanto los filtros para alisado son menores.
4. Las prestaciones dinámicas son mayores, ya que con seis pulsos se puede variar el ángulo de encendido seis veces por periodo (Academia.edu, 2019).

#### **2.3.1.2. Circuito intermedio.**

La etapa central es el denominado circuito intermedio de continua y que puede funcionar como fuente de tensión o intensidad para la etapa final del ondulador, según la disposición que se adopte. A veces al ondulador se le llama inversor tal como aparece en la figura 2.21, aunque es más correcto

llamar inversor a todo el conjunto (rectificador, circuito intermedio y ondulator) (Academia.edu, 2019).

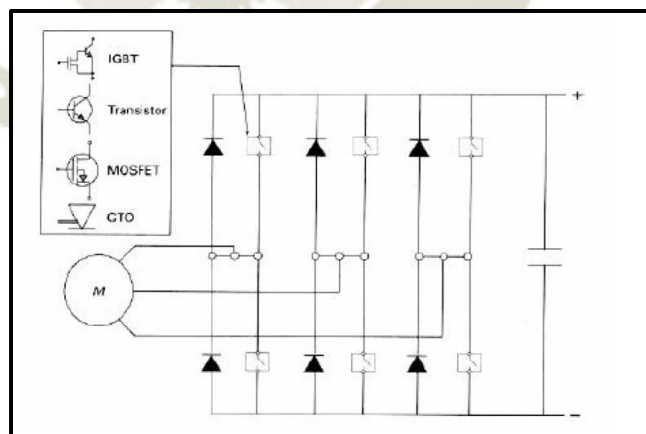
La función del circuito intermedio es alimentar la tercera etapa, es decir al ondulator.

Según la configuración que se adopte las características del inversor son distintas y condiciona cuestiones tales como: armónicos, resistencia de frenado, gama de potencias, accionamiento para un solo motor o varios a la vez, etc (Academia.edu, 2019).

### 2.3.1.3. Ondulator.

El ondulator es un conmutador electrónico que comunica alternativamente la tensión o intensidad continua del circuito intermedio sobre las fases del motor de ca conectado a sus salidas. La disposición más común es el puente trifásico de Graetz y está formado por semiconductores controlables que pueden tiristores desconectables por puerta (GTO), transistores de potencia, IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o MOSFET (transistor de efecto campo de óxido metálico). De los anteriores el que más se está utilizando para motores industriales es el IGBT (Academia.edu, 2019).

*Figura 2.21 Etapa intermedia y ondulator*



Fuente: Academia.edu, 2019

En función de la mayor o menor perfección del sistema de conmutación lograremos que las ondas de tensión a la salida hagan que las corrientes

absorbidas se acerquen más o menos al sistema trifásico senoidal (Academia.edu, 2019).

Hay distintas formas de regular la tensión de salida del inversor como son:

1. Variar el valor de la tensión en el circuito intermedio.
2. Variar el ancho de la zona de conducción de cada semionda de salida.
3. Variar la tensión de salida en función de la proporción entre los tiempos de conexión y desconexión de los semiconductores de potencia mediante la técnica de regulación PWM (iniciales de **Modulación del Ancho de Pulso**, en inglés). Además de regular la salida, este método tiene la ventaja de generar una onda de tensión de salida que mejora notablemente la onda de intensidad absorbida por el motor, lo cual hace que el motor funcione de forma semejante a si estuviera alimentado por tensiones senoidales de la red. Con ello se logra la grandísima ventaja de emplear motores normalizados de fabricación en serie sin la necesidad de fabricar motores específicos para poder ser regulados por convertidores (Academia.edu, 2019).

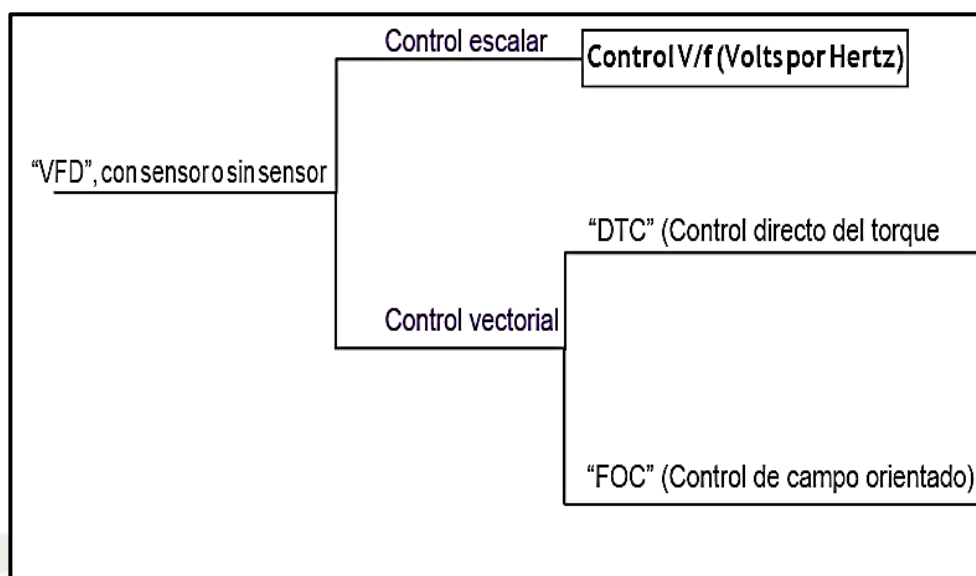
### **2.3.2. TECNOLOGÍAS DE CONTROL ESCALAR Y VECTORIAL APLICADO AL MOTOR DE INDUCCIÓN.**

#### **2.3.2.1. Control del motor de inducción.**

Hoy en día vemos que los variadores de velocidad para motores asíncronos más simples y económicos solo vienen con la opción de realizar un control escalar, mientras que los más sofisticados y robustos variadores vienen con la opción de realizar varios tipos de controles elegibles a la conveniencia del usuario, tales como: control escalar (V/f lineal), V/f cuadrática, control de corriente de campo (FCC), control vectorial en lazo cerrado, control vectorial sin sensores (SVC), etc. Podemos imaginar entonces que la selección del tipo de control aplicado a un motor no es un aspecto que se pueda dejar de lado (Espinoza, 2017).

Para dar una perspectiva de los diversos métodos, se muestra el diagrama de la figura 2.22

**Figura 2.22 Principales métodos de control de variadores de frecuencia**



Fuente: Espinoza, 2017

La selección del tipo de control óptimo para un motor asíncrono depende principalmente de la carga al que va a estar sometido y del tipo de operación en la que se desea que trabaje. Nos centraremos en 2 tipos de control:

1. Control escalar (“V/f constante”).
2. Control Vectorial (por orientación indirecta del flujo del rotor).

Las cargas son clasificadas según su característica de torque en función de la velocidad (llamado “torque resistente). La Tabla 2.2 resume las cargas más comunes y sus respectivos comportamientos referentes al torque resistente (Espinoza, 2017).

**Tabla 2.2 Clasificación de las cargas respecto al comportamiento del torque**

Torque constante: (T/w constante)	Trefiladoras, compresores recíprocos, bandas transportadoras, grúas, ascensores, prensas de imprenta.
Torque lineal: (T/w lineal)	Prensas, mezcladoras/agitadoras, bombas de desplazamiento positivo, calandrias, extrusoras.
Torque cuadrático: (T/w cuadrática)	Bombas centrífugas, ventiladores y compresores.
Torque hiperbólico: (T/w hiperbólico)	Máquinas desembobinadoras.
Torque indefinido:	Mesas alimentadoras.
Torque Inverso (potencia constante)	Máquinas de corte, tornos, taladros, sierras eléctricas, molinos, etc.

Fuente: Espinoza, 2017

Para entender las características básicas de ambos métodos de control de velocidad, en la tabla 2.3 se resumen las características del control escalar, y en la tabla 2.4, se resumen las características del control vectorial (Espinoza, 2017).

**Tabla 2.3 Ventajas y desventajas del control escalar**

<b>Ventajas del control escalar</b>		(Sí/No)
1.	Posibilidad de control sin sensores.	Sí
2.	Algoritmo sencillo.	Sí
<b>Desventajas del control escalar</b>		(Sí/No)
4.	Alta precisión a bajas velocidades.	No
5.	Flexible a cambio de parámetros del motor.	No
6.	Baja distorsión armónica.	No

Fuente: Espinoza, 2017

**Tabla 2.4 Ventajas y desventajas del control vectorial indirecto**

<b>Ventajas del control vectorial indirecto</b>		(Sí/No)
1.	Posibilidad de control sin sensores.	Sí
2.	Alta precisión a bajas velocidades.	Sí
3.	Baja distorsión armónica.	Sí
<b>Desventajas del control vectorial indirecto</b>		(Sí/No)
4.	Algoritmo sencillo.	No
5.	Flexible a cambio de parámetros del motor.	No

Fuente: Espinoza, 2017

### 2.3.2.2. Principio del Control Escalar

El control voltaje/frecuencia (V/f) también conocido como control escalar, tiene una gran aceptación en la industria, principalmente en accionamientos eléctricos en lazo abierto, sin embargo, en aplicaciones en lazo cerrado requiere una atención especial (Espinoza, 2017).

El voltaje aplicado a las terminales del estator disminuye proporcionalmente con la disminución de su frecuencia para obtener una operación adecuada. Si esto no se realiza, se saturará el acero del núcleo del motor y fluirán corrientes de magnetización excesivas en la máquina, como ocurriría en el control por frecuencia (Espinoza, 2017).

Cuando se desea operar el motor en condiciones nominales a velocidades inferiores a la velocidad base del motor es necesario reducir el voltaje aplicado a las terminales del estator pero manteniendo siempre la relación  $V/f=cte$ . Para entender esto, recuérdese que el flujo en el núcleo de un motor de inducción se puede encontrar aplicando la ley de Faraday:

Si se aplica un voltaje por fase de  $v_s(t) = V_{s(max)} \sin(\omega t)$  al estator, entonces el flujo resultante producido por cada fase del estator:

$$\phi_s(t) = \frac{V_{s(max)} \cos(\omega t)}{\omega \cdot N_p}$$

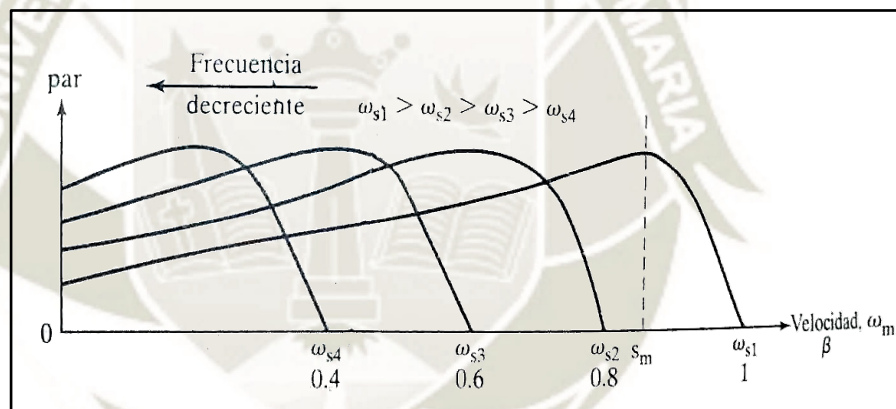
$$\phi_{s(max)} = \frac{V_{s(max)}}{\omega \cdot N_s}$$

$N_s$ : Número de vueltas en cada fase del estator.

Entonces, cuando el voltaje aplicado a un motor de inducción varía linealmente con la frecuencia por debajo de la velocidad base, el flujo en el motor permanece constante. A frecuencias mayores de la velocidad base no se puede mantener el flujo constante debido a que se debe evitar que exceda su voltaje nominal (Espinoza, 2017).

La figura 2.23 muestra una familia de curvas características par-velocidad del motor de inducción para velocidades menores que la velocidad base suponiendo que la magnitud del voltaje del estator varía linealmente con la frecuencia (Espinoza, 2017).

**Figura 2.23 Características par-velocidad con control por relación**



Fuente: Espinoza, 2017

Del modelo en estado estable del motor de inducción, tenemos que el par máximo en cualquier otra frecuencia de alimentación viene dado por:

$$T_{max} = \frac{3}{2 \omega_b (X_s + X_r')} \left( \frac{V_a}{\beta} \right)^2 \quad \text{ecu 1.3}$$

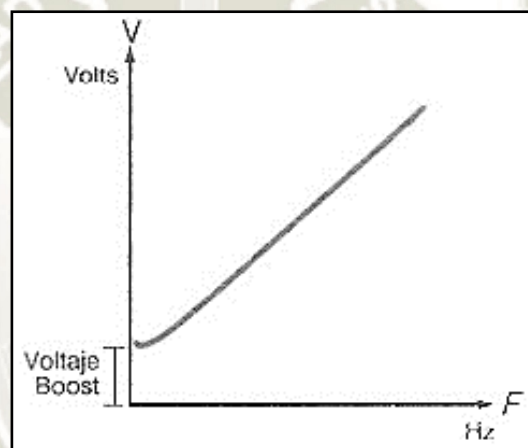
$$\beta = \frac{\omega_{snc}}{\omega_b}$$

$\omega_{snc}$  : Velocidad síncrona en cualquier otra frecuencia.

$\omega_b$  : Velocidad síncrona del motor en condiciones nominales (velocidad de base)

La ec. (1.3) indica que si se mantiene  $V/f$  constante, también el torque máximo se mantiene constante, pues depende de la frecuencia del motor, como se observa en la Fig. 2.23. Si se mantiene constante la relación  $V/f$  se dice que opera en zona de par constante. Sin embargo, a una baja frecuencia se reduce el flujo en el entrehierro, por la reducción de la impedancia del estator, que trae como consecuencia la necesidad de aumentar el voltaje para mantener el valor del torque, este voltaje adicional es denominado voltaje “boost”, (como se puede apreciar en la curva  $V-f$  de la Fig. 2.24) (Espinoza, 2017).

**Figura 2.24** Variación requerida de voltaje /frecuencia para mantener una zona de par constante



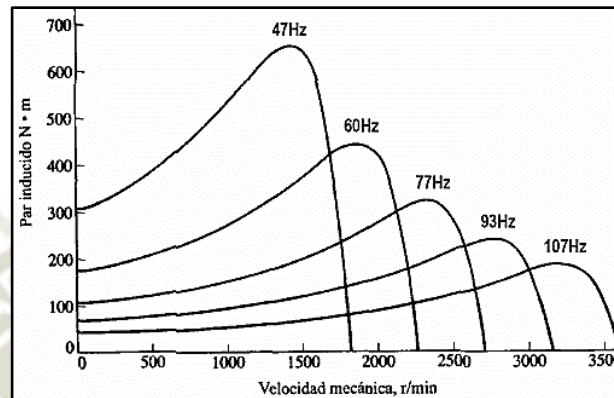
Fuente: Espinoza, 2017

La relación entre voltaje y frecuencia se puede mantener constante excepto a bajas velocidades, donde se presenta caída significativa de voltaje, lo que ocasiona que el torque entregado por el motor sea muy inferior al nominal, debido a que se genera un flujo magnético muy débil. Esta no linealidad entre  $V$  y  $f$  se debe a la necesaria compensación de la caída de voltaje en la resistencia del estator. Esta compensación depende de la carga y del valor de la resistencia *del estator*, por lo que se puede determinar la magnitud de dicho voltaje (Espinoza, 2017).

Cuando la frecuencia eléctrica aplicada al estator excede la frecuencia nominal del motor, el voltaje del estator se mantiene constante en su valor nominal (para que no exceda la potencia nominal), entonces el motor

trabajará en la zona de control de la frecuencia. Cuanto mayor sea la frecuencia de alimentación sobre la velocidad base, menor será el flujo resultante producido por el estator y disminuye también el par máximo (debilitamiento de campo) (Espinoza, 2017).

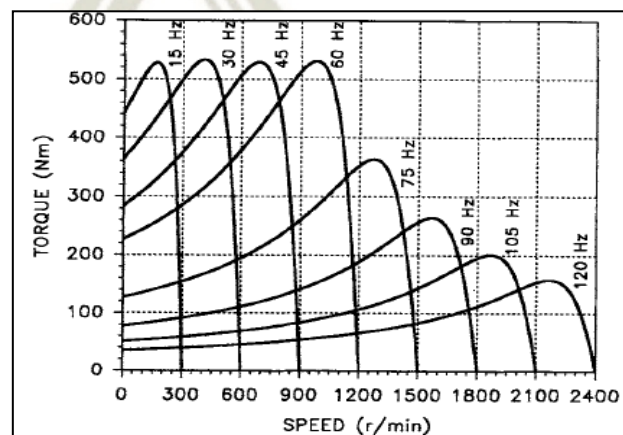
**Figura 2.25 Curvas par - velocidad para velocidades mayores de la velocidad base (velocidad constante)**



Fuente: Espinoza, 2017

La figura. 2.25 muestra una familia de curvas características del motor de inducción a velocidades por encima de la nominal si el voltaje del estator se mantiene constante. La Fig. 2.26 se muestra el torque-velocidad para distintas frecuencias de alimentación aplicando control escalar, la primera zona  $V/f=cte$  para frecuencias hasta 60 Hz., y la segunda zona  $V=cte$  para frecuencias mayores (Espinoza, 2017).

**Figura 2.26 Curva característica de un motor de inducción de 6 polos con control escalar**



Fuente: (Espinoza, 2017)

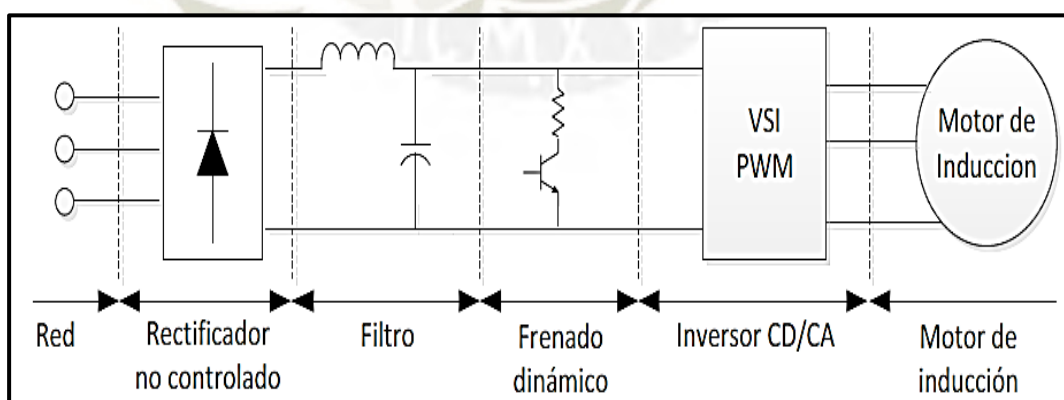
El control escalar ofrece ventajas como es la opción de trabajar en lazo abierto (sin sensor de velocidad); y como desventaja que el par y el flujo no son directamente controladas. Este control, en lugar de basarse en una frecuencia y un voltaje de referencia, genera valores de voltajes fijos a cualquier frecuencia de salida, para eso opera un modulador de ancho de pulso (PWM). A pesar de su arreglo simple, lamentablemente, provee una precisión limitada en la velocidad y una pobre respuesta del par generado a bajas revoluciones (Espinoza, 2017).

Con respecto al comportamiento dinámico, lo que se obtiene con un control V/f, además de la regulación de la velocidad, es un tiempo menor de estabilización de la velocidad y oscilaciones del torque en menor proporción comparado con el arranque directo del motor.

Otra desventaja del método V/f es que este control está diseñado para ser usado en estado permanente y no controla de forma eficiente los transitorios, además, posee poca precisión.

La topología completa de un convertidor se muestra en la figura 2.27 en donde el rectificador no controlado (emplea diodos) proporciona un voltaje constante dc, al cual se le elimina el rizado empleando un filtro a su salida, cuyo voltaje es entrada al inversor (Espinoza, 2017).

**Figura 2.27 Convertidor de voltaje con salida de inversor de voltaje PWM**



Fuente: Espinoza, 2017

Dos ventajas fundamentales se deducen del empleo de esta tecnología, por una parte el factor de potencia desde el lado de la red se mejora considerablemente

(prácticamente es uno) y por otra parte, se tiene la posibilidad de frenado dinámico mediante disipación de energía a través de las resistencias de frenado.

En la figura 2.27 se muestra la resistencia de frenado con un interruptor estático que la gobierna, que es activado cuando se tiene un incremento en el voltaje de las terminales del capacitor debido a que la maquina cambió de régimen de motor a generador (Espinoza, 2017).

Para controlar la magnitud y la frecuencia del voltaje se puede utilizar la técnica de modulación de ancho de pulso (PWM); o la técnica de seis-pasos para controlar la frecuencia del voltaje, en donde la magnitud de salida es fija. Sin embargo este método no presenta todas las ventajas que la industria demanda, las cuales son: flexibilidad al cambio de parámetros, control en toda la gama de velocidades, ahorro de energía, poca distorsión armónica y facilidad de manejo (Espinoza, 2017).

### **2.3.2.3. Principio del Control Vectorial**

En algunas aplicaciones, el motor no solo debe acelerar, invertir su giro, parar y arrancar, sino que debe hacerlo rápidamente, mientras responde a torques de carga que pueden cambiar sin advertencia, todo en cuestión de milisegundos. Bajo tales condiciones, el comportamiento del motor solo puede ser descrito por ecuaciones especiales que son mucho más complejas que el circuito eléctrico equivalente conocido del motor de inducción, que en realidad solo describe el comportamiento del motor en estado estable (Espinoza, 2017).

Durante tales condiciones transitorias los voltajes y corrientes ya no son sinusoidales, y más aún porque las formas de onda generadas por el procesador cambian rápidamente. Durante estos periodos de transición, el flujo debe mantenerse tanto en magnitud como en dirección a fin de desarrollar el torque requerido (Espinoza, 2017).

Es la rápida conmutación de los IGBT's operando a frecuencias portadoras de muchos kHz, conjuntamente con procesadores de alta velocidad, lo que hace posible este tipo de control dinámico en el denominado "control vectorial". Obviamente, el control vectorial no es necesario para cargas en

donde no se requiere cambios rápidos de velocidad, tampoco para manejar cargas de alta-inercia que inherentemente toman un tiempo considerable para cambiar la velocidad. En efecto, la inercia juega un rol importante en el ajuste de todos los variadores de velocidad (Espinoza, 2017).

Los métodos de control que se han descrito hasta ahora permiten tener un funcionamiento satisfactorio en estado permanente, pero su respuesta dinámica es mala. Un motor de inducción implica múltiples variables no lineales, así como características muy acopladas. El método de control vectorial, que también es llamado “**control por campo orientado**” (“**F.O.C.**” por sus siglas en inglés), permite controlar un motor de inducción, tipo jaula, con alto rendimiento dinámico, comparable a la característica de un motor dc. El método “FOC” desacopla los dos componentes de la corriente en el estator: uno que proporciona el flujo en el entrehierro y el otro que produce el torque, de esta manera proporciona un control independiente del flujo y del torque, y se linealiza las características de control (Espinoza, 2017).

Con un control vectorial, un motor de inducción puede funcionar como un motor de dc con excitación separada (Espinoza, 2017).

#### **2.3.2.3.1. Aplicaciones.**

El control vectorial fue desarrollado originalmente para aplicaciones de motor con alto rendimiento, y para funcionar sin problemas en todo el rango de velocidad, incluso puede generar torque completo a velocidad cero. Además, es capaz de lograr una rápida aceleración y desaceleración. Se está convirtiendo en cada vez más atractivo para aplicaciones de requerimiento más bajo debido al menor tamaño del motor, con reducción de costos y consumo de energía. Algunos aspectos significativos del control vectorial son:

1. Se necesita medición de velocidad o posición del rotor, o algún tipo de estimación.
2. El torque y el flujo pueden cambiar rápidamente, en el orden de 5-10 milisegundos, cambiando las referencias.

3. La frecuencia de conmutación es generalmente constante.
4. La precisión alcanzada en el torque y la velocidad depende de la precisión de los parámetros del motor utilizados en el control (Motortico, 2019).

Se pueden resumir las características del control vectorial en que:

1. Regula, de una manera independiente, la corriente que produce el flujo magnético y la corriente que produce el par.
2. Permite una velocidad suave y alto torque, a la vez que se obtiene una gran precisión de velocidad y par aunque la velocidad del motor sea excesivamente baja.
3. Se obtiene una repuesta inmediata de velocidad al variar la carga.
4. Da mejoras en general en el rendimiento del drive sobre el control escalar. Superior eficiencia, control total de torque, dinámica mejorada, etc (Espinoza, 2017).

#### **2.4. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES.**

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es: “Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos” (Uned, 2019).

El campo de aplicación de los PLCs es muy diverso e incluye diversos tipos de industrias (ej. automoción, aeroespacial, construcción, etc.), así como de maquinaria. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para

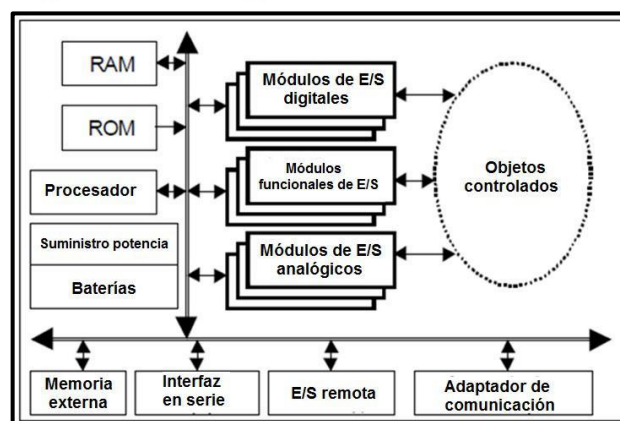
múltiples señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real duro donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, que de lo contrario no producirá el resultado deseado (Uned, 2019).

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentran que, gracias a ellos, es posible realizar operaciones en tiempo real, debido a su disminuido tiempo de reacción. Además, son dispositivos que se adaptan fácilmente a nuevas tareas debido a su flexibilidad a la hora de programarlos, reduciendo así los costos adicionales a la hora de elaborar proyectos. Permiten también una comunicación inmediata con otro tipo de controladores y ordenadores e incluso permiten realizar las operaciones en red. Como ya se ha mencionado previamente, tienen una construcción estable al estar diseñados para poder resistir condiciones adversas sobre vibraciones, temperatura, humedad y ruidos. Son fácilmente programables por medio de lenguajes de programación bastante comprensibles. Sin embargo, presentan ciertas desventajas como la necesidad de contar con técnicos calificados para ocuparse de su buen funcionamiento (Uned, 2019).

#### 2.4.1. Estructura general de los PLCs.

El siguiente diagrama de flujo muestra los componentes y la estructura de un PLC:

*Figura 2.28 Estructura general de PLCs*



Fuente: Uned, 2019

Como puede observarse en la figura 2.31, para que el sistema funcione es necesario que exista un suministro de potencia cuyo propósito principal es garantizar los voltajes de operación internos del controlador y sus bloques. Los valores más frecuentemente utilizados son  $\pm 5V$ ,  $\pm 12V$  y  $\pm 24V$  y existen principalmente dos módulos de suministro de potencia: los que utilizan un voltaje de entra de la red de trabajo los que utilizan suministradores de potencia operacionales para el control de los objetos (Uned, 2019).

La parte principal es la denominada “unidad central de procesamiento” o CPU que contiene la parte de procesamiento del controlador y está basada en un microprocesador que permite utilizar aritmética y operaciones lógicas para realizar diferentes funciones. Además, la CPU, testea también frecuentemente el PLC para lograr encontrar errores en su debido tiempo (Uned, 2019).

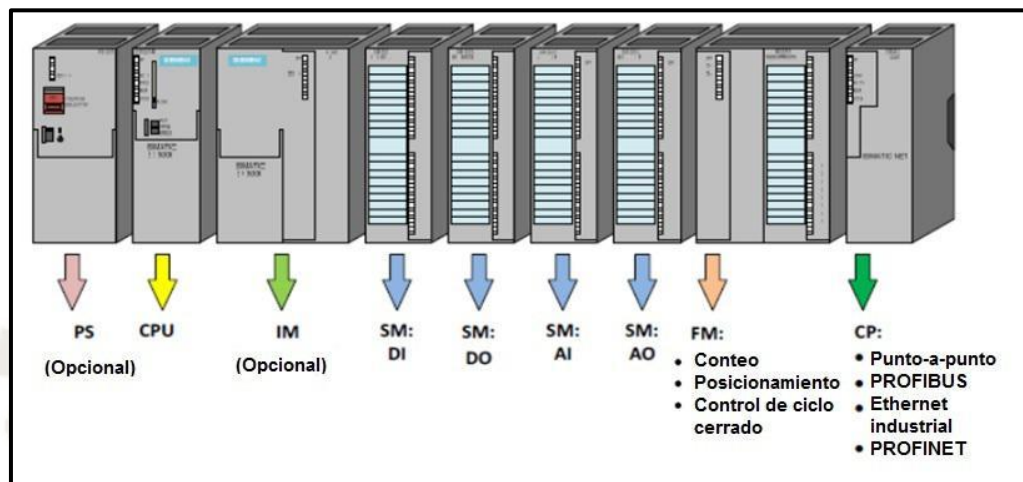
La transferencia de datos y/o direcciones en los PLCs es posible gracias a cuatro tipos de buses diferentes:

- Bus de datos, para la transferencia de datos de los componentes individuales
- Bus de direcciones, para aquellas transferencias entre celdas donde se habían guardado datos
- Bus de control, para las señales de control de los componentes internos
- bus de sistema, para conectar los puertos con los módulos de E/S (Uned, 2019).

#### **2.4.2. Componentes de hardware.**

Una PLC puede contener un casete con una vía en la que se encuentran diversos tipos de módulos, como puede observarse en la siguiente figura, correspondiente a una PLC de la empresa Siemens:

*Figura 2.29 Componentes de hardware*



Fuente: Uned, 2019

Como puede observarse en la figura, el PLC dispone de los siguientes módulos que, aunque en este tipo no puede ser intercambiada, esto sí es posible para PLCs de otras compañías. Los módulos más importantes son:

- Módulo de interfaz (IM), conecta diferentes casetes individuales con un único PLC.
- Módulo funcional (FM), procesamiento complejo en tiempo-crítico de procesos independientes de la CPU, por ejemplo, conteo rápido.
- Regulador PID o control de la posición.
- Procesador de la comunicación (CP), conecta el PLC en una red de trabajo industrial, ej. Industrial Ethernet, PROFIBUS, AS – interfaz, conexión serie punto-a-punto.
- Interfaz hombre-máquina (HMI), ej. panel de operaciones;
- Entradas/salidas remotas.
- Módulos de señal de alta-velocidad.
- Cada módulo de PLC module tiene su propia interfaz-HIM básica, utilizada para la visualización de los errores y las condiciones de comunicación, la batería, entradas/salidas, operación de los PLC, etc. Pequeños displays con cristal líquido (LCD) o diodos emisores de luz (LED) se utilizan para la interfaz-HMI (Uned, 2019).

### 2.4.3. Tipos de PLCs.

Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en el número de I/O, en su tamaño de memoria, en su aspecto físico y otros, es que es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías (Uned, 2019).

#### 2.4.3.1. PLC compactos.

Son aquellos que incorporan CPU, PS, módulos de entrada y salida en un único paquete (Uned, 2019).

#### 2.4.3.2. PLC modular.

Es el tipo de PLC más potente y tiene más funciones que los PLC compactos. La CPU, SM, CP y otros módulos se encuentran generalmente en paquetes separados en un riel DIN o en un riel con una forma especial y que se comunica con la CPU a través de un sistema bus. Tiene un número limitado de lugares para los módulos pero, en la mayoría de los casos, este puede aumentarse. Además, los PLCs modulares pueden utilizar un elevado número de entradas/salidas, pueden soportar programas más grandes, guardar más datos y operar bajo el modo de multitarea. Normalmente se utilizan para el control, regulación, posicionamiento, procesamiento de datos, manipulación, comunicación, monitorización, servicios-web, etc (Uned, 2019).

#### 2.4.3.3. PLC de tipo montaje en rack.

Son aquellos que prácticamente tienen las mismas capacidades y funciones que el PLC modular. Sin embargo, existen algunas diferencias en el bus o en el rack dónde se colocan los módulos del PLC. El rack contiene ranuras para los módulos y un sistema de bus integrado para intercambiar información entre los diferentes módulos. La mayoría de los módulos PLC no tienen sus propias cajas, disponen solamente de un panel frontal con una interfaz-HIM. La ventaja principal es que pueden permitir un intercambio más rápido de los datos entre los módulos y el tiempo de reacción por parte de los módulos es menor (Uned, 2019).

#### 2.4.3.4. PLC con panel Operador y Controlador Lógico Programable.

Posee una interfaz HIM para su funcionamiento y una monitorización de los procesos automáticos y las máquinas. La HMI consiste principalmente en un monitor y un teclado o una pantalla táctil. El monitor puede ser bien de tipo texto o gráfico. La ventaja principal de este sistema respecto a un PLC con un panel operador aparte es que no es necesario programar el panel de forma separada. Toda la programación se realiza por medio de una herramienta software, lo que permite economizar los gastos del desarrollo del sistema (Uned, 2019).

#### 2.4.3.5. Tipos de señales utilizadas.

Un PLC recibe y transfiere señales eléctricas, expresando así variables físicas finitas (temperatura, presión etc.). De este modo es necesario incluir en el SM un convertidor de señal para recibir y cambiar los valores a variables físicas. Existen tres tipos de señales en un PLC: señales binarias, digitales y analógicas (Uned, 2019).

##### 2.4.3.5.1. Señales binarias

Señal de un bit con dos valores posibles (“0” – nivel bajo, falso o “1” – nivel alto, verdadero), que se codifican por medio de un botón o un interruptor. Una activación, normalmente abre el contacto correspondiendo con el valor lógico “1”, y una no-activación con el nivel lógico “0”. Los límites de tolerancia se definen con interruptores sin contacto. Así el IEC 61131 define el rango de -3 - +5 V para el valor lógico “0”, mientras que 11 - 30 V se definen como el valor lógico de “1” (para sensores sin contacto) a 24 V DC . Además, a los 230 V AC, la IEC 61131 define el rango de 0 – 40 V para el valor lógico de “0”, y 164 – 253 V para el valor lógico “1” (Uned, 2019).

##### 2.4.3.5.2. Señales digitales.

Se trata de una secuencia de señales binarias, consideradas como una sola. Cada posición de la señal digital se denomina un bit. Los formatos típicos de las señales digitales son: tetrad 4 bits (raramente utilizado), byte – 8

bits, word – 16 bits, double word – 32 bits, double long word – 64 bits (raramente utilizado) (Uned, 2019).

#### **2.4.3.5.3. Señales analógicas.**

Son aquellas que poseen valores continuos, es decir, consisten en un número infinito de valores (ej. en el rango de 0 – 10 V). Hoy en día, los PLCs no pueden procesar señales analógicas reales. De este modo, estas señales deben ser convertidas en señales digitales y vice-versa. Esta conversión se realiza por medio de SMs analógicos, que contienen ADC. La elevada resolución y precisión de la señal analógica puede conseguirse utilizando más bits en la señal digital. Por ejemplo, una señal analógica típica de 0 – 10 V puede ser con precisión (pasos para la conversión en una señal digital) desde 0.1 V, 0.01 V o 0.001 V de acuerdo al número de bits que vaya a tener la señal digital (Uned, 2019).

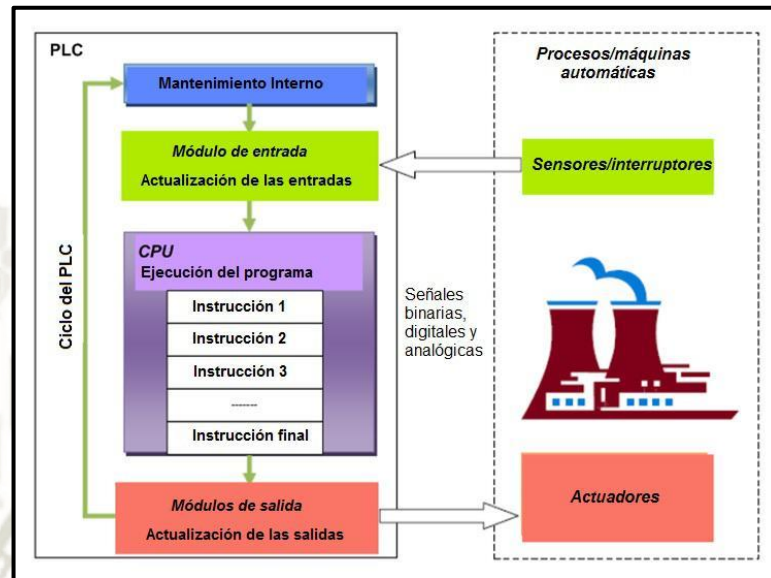
#### **2.4.4. Principio de funcionamiento.**

Un PLC funciona cíclicamente, como se describe a continuación:

- Cada ciclo comienza con un trabajo interno de mantenimiento del PLC como el control de memoria, diagnóstico etc. Esta parte del ciclo se ejecuta muy rápidamente de modo que el usuario no lo perciba.
- El siguiente paso es la actualización de las entradas. Las condiciones de la entrada de los SMs se leen y convierten en señales binarias o digitales. Estas señales se envían a la CPU y se guardan en los datos de la memoria.
- Después, la CPU ejecuta el programa del usuario, el cual ha sido cargado secuencialmente en la memoria (cada instrucción individualmente). Durante la ejecución del programa se generan nuevas señales de salida.
- El último paso es la actualización de las salidas. Tras la ejecución de la última parte del programa, las señales de salida (binaria, digital o analógica) se envían a la SM desde los datos de la memoria. Estas señales son entonces convertidas en las señales apropiadas para las señales de los actuadores. Al final de cada ciclo el PLC comienza un ciclo nuevo.

En la siguiente figura se muestra el ciclo de operación de un PLC Siemens S7-300 aunque el de otras empresas puede ser algo diferente (Uned, 2019).

**Figura 2.30** *Ciclo de operación de un PLC*



Fuente: Uned, 2019

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO

#### 3.1. COMPOSICIÓN

##### 3.1.1. ANALIZADOR DE REDES

*Figura 3.1 Analizador de redes SENTRON PAC 4200*



Fuente: Elaboración propia

Conexión del analizador de redes Siemens SENTRON PAC 4200. A continuación se muestran algunos ejemplos de conexión. Muestran la conexión en:

- Redes de dos, tres o cuatro conductores.
- Con carga balanceada o desbalanceada.
- Con/sin transformador de tensión.
- Con transformador de corriente.

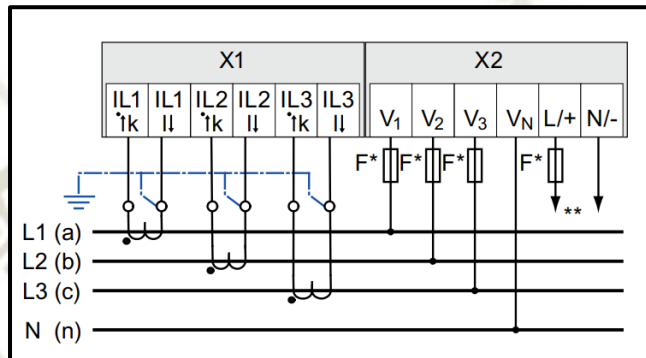
El dispositivo puede utilizarse hasta los valores máximos permitidos de tensión con o sin transformadores de tensión. Las corrientes sólo pueden medirse por intermedio de un transformador de corriente. Todos los bornes de entrada o salida no necesarios para la medición permanecen libres. En los ejemplos de conexión, el secundario del transformador está puesto a tierra en el borne "I" a

modo de ejemplo. La puesta a tierra se puede realizar en los bornes "k" o "l". La puesta a tierra no influye en la medición (Siemens, 2019).

### 3.1.1.1. Tipo de conexión 3P4W

Medición trifásica, cuatro conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.

**Figura 3.2 Tipo de conexión 3P4W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente**

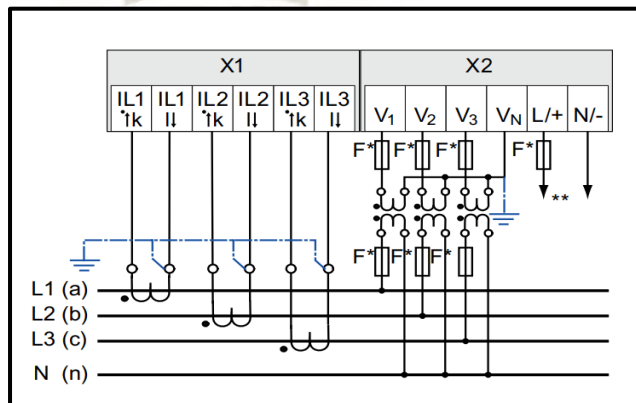


Fuente: Siemens, 2019

### 3.1.1.2. Tipo de conexión 3P4W

Medición trifásica, cuatro conductores, carga desbalanceada, con transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.

**Figura 3.3 Tipo de conexión 3P4W, con transformador de tensión, con tres transformadores de corriente**



Fuente: Siemens, 2019

### 3.1.2. CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE PLC

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones (SIEMENS-PLC, 2019).

*Figura 3.4 Controlador lógico programable Siemens Simatic S7 - 1200*



Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3. VARIADOR DE FRECUENCIA

*Figura 3.5 Variador de velocidad ATV 28 Schneider Electric*



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

En electrónica, la fuente de alimentación o fuente de potencia es el dispositivo que convierte la corriente alterna (CA), en una o varias corrientes continuas (CC), que alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se conecta como controladores lógicos programables, sensores, computadoras, etc.

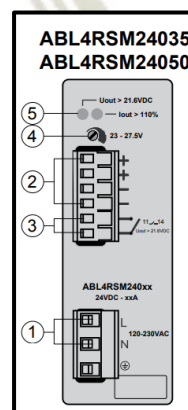
*Figura 3.6 Fuente de alimentación de corriente continua Schneider Electric*



Fuente: Elaboración propia

El modelo ABL4RSM24050 Schneider Electric entrega una tensión de salida de 24 Vcc, potencia de 120 W, protección de salida contra cortocircuitos con tecnología de protección de rearme automático, contra sobrecarga y sobre tensión.

*Figura 3.7 Partes de fuente de corriente continua*



Fuente: (Schneider-Electric, 2003)

1. Entrada.
2. Salida DC.
3. Diagnóstico de salida (contacto seco 11-14).
4. Ajuste de la tensión de salida.
5. LED de Diagnóstico Uout – Iout.
6. Selección de la tensión de entrada.






### 3.1.5. MOTOR ELECTRICO TRIFASICO

*Figura 3.8 Motor eléctrico WEG 1.5 Hp*



Fuente: Elaboración propia

*Figura 3.9 Placa de identificación para carcasas 63 a 132*

 <b>W22 High Eff.</b>		5 → IE1 - 79.2%			
		25 → 03FEV10 000000000 ← 27			
2 → ~	3 kW	1.1 (1.5) ← 11	FRAME 80	8 → INS. CL. F	9 → ΔT 80 K
3 → V	220/380/440	A	4.50/2.61/2.25 ← 13	12 → min <sup>-1</sup>	1710
10 → Hz	60	SF 1.15 ← 16	P.F. 0.81 ← 14	DUTY S1 ← 4	
15 → AMB.	40°C	IP55 ← 7	Alt. 1000 <sub>m.a.s.l.</sub> ← 17	MOD. TE1BF0X0#0000301334	
22 →		Kg ← 18		6204-ZZ ← 19	
		6203-ZZ ← 20		MOBIL POLYREX EM ← 21	
1 →	MADE IN BRAZIL 11421898	 	 	VDE 0530 ← 24 IEC 60034	

Fuente: MOTOREX, 2019

Características de motor trifásico de inducción jaula de ardilla WEG.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Código del motor.                       | 17. Altitud ambiente máxima.                                   |
| 2. Número de fases.                        | 18. Peso del motor.  |
| 3. Tensión nominal de operación.           | 19. Especificación del rodamiento delantero.                   |
| 4. Régimen de servicio.                    | 20. Especificación del rodamiento trasero.                     |
| 5. Eficiencia.                             | 21. Tipo de grasa de los rodamientos.                          |
| 6. Tamaño de carcasa.                      | 22. Diagrama de conexión.                                      |
| 7. Grado de protección.                    | 23. Intervalo de lubricación en horas.                         |
| 8. Clase de aislamiento.                   | 24. Certificaciones.   |
| 9. Sobrelevación de temperatura del motor. | 25. Fecha de fabricación.                                      |
| 10. Frecuencia.                            | 26. Categoría de par.  |
| 11. Potencia nominal del motor.            | 27. Número serial.   |
| 12. Velocidad nominal del motor en RPM.    | 28. Cantidad de grasa en el rodamiento delantero.              |
| 13. Corriente nominal de operación.        | 29. Cantidad de grasa en el rodamiento trasero (Motorex, 2019) |
| 14. Factor de potencia.                    |  |
| 15. Temperatura ambiente máxima.           |  |
| 16. Factor de servicio.                    |  |

### 3.1.6. ELEMENTOS DE CONTROL

#### 3.1.6.1. Interruptor termomagnético automático.

*Figura 3.10 Interruptor automático de fuerza y mando*



Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.6.2. Guarda motor

*Figura 3.11 Guarda motor con contacto auxiliar*



Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.6.3. Contactor.

Un **contactor** es un elemento electromecánico que tiene la capacidad de permitir o interrumpir el flujo de corriente eléctrica hacia la carga, con la posibilidad de ser accionado a distancia mediante la utilización de elementos de comando, los cuales están compuesto por un circuito bobina / electroimán por la cual circula una menor corriente que la de carga a controlar.

*Figura 3.12 Contactor Siemens SIRUS*



Fuente: Elaboración propia

### Características

Contactador de potencia, 3 AC 32 A, 15 kW/400 V 230 V AC, 50/60 Hz, 3 polos, Tamaño S2, borne de tornillo (Bricos, 2019).

#### 3.1.6.4. Temporizador.

Un temporizador es un aparato con el que podemos regular la conexión o desconexión de un circuito eléctrico después de que se ha programado un tiempo.

El tiempo es determinado por una actividad o proceso que se necesite controlar. Se diferencia del relé, en que los contactos del temporizador no cambian de posición instantáneamente. Podemos clasificar los temporizadores en:

De conexión: el temporizador recibe tensión y transcurre el tiempo programado hasta liberar los contactos.

De desconexión: cuando el temporizador deja de recibir tensión al cabo de un tiempo, libera los contactos (Bricos, 2019).

*Figura 3.13 Temporizador análogo a la conexión*



Fuente: Elaboración propia

### **Características temporizador analógico**

Marca: EBASEE

Tipo: ST3P - B

Tecnología: analógico

Función: retardado

Tensión: 220 V

Los contactos de la salida valoraron 5A en 120/240 VAC y 30 VDC, carga resistente.

Zócalo montado con un zócalo PF083A/PS-08.

Dos LED proporcionar la indicación de situación para las operaciones encendido - apagado.

### **3.1.7. DISEÑO DE MODULO DE ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTORES DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA.**

En la figura 3.14 se muestra el proyecto culminado, con la disposición de los equipos como el analizador de redes, controlador lógico programable, variador de velocidad, fuente de alimentación DC, elementos electromecánicos (contactores), interruptores de protección, pulsadores y pilotos led de señalización.

*Figura 3.14 Módulo arranque electrónico de motores de inducción*



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.14 se muestra el proyecto del módulo didáctico culminado con la disposición y ensamble de los diferentes elementos como: analizador de redes, controlador lógico programable, variador de velocidad, fuente de alimentación de DC, interruptores de protección, fusibles de protección, elementos electromecánicos (contactores), pulsadores, pilotos led de señalización y motor eléctrico. El conexionado de los diferentes dispositivos está realizado según plano 1.1.

## CAPÍTULO IV

### 4. EXPERIENCIAS DE FUNCIONAMIENTO Y VALIDACIÓN DE DATOS

#### 4.1. PROCEDIMIENTO DE USO DE MÓDULO DE ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTORES DE INDUCCIÓN POR CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PLC

##### 4.1.1. Objetivo General

Utilizar el software STEP 7 (TIA PORTAL) en la aplicación de un programa para un sistema de bombeo hidroneumático por controlador lógico programable PLC S7-1200 de Siemens.

##### 4.1.2. Objetivos Específicos

Descripción del equipo, conocer el entorno de programación, guardar, y ejecutar el programa para PLC S7-1200 por medio del programa STEP7 (TIA PORTAL).

Análisis de la corriente de arranque de motor eléctrico.

##### 4.1.2.1. Material y Equipo

Una Laptop o computadora con tarjeta de red ethernet y el programa STEP7 (TIA PORTAL V13) instalado (deseable procesador Intel core I3 o superiores y Windows 10 PRO para su instalación)

**Tabla 4.1 Requisitos del sistema**

Hardware/software	Requisitos
Tipo de procesador	Pentium M, 1.6 GHz o similar
RAM	1GB
Espacio disponible en el disco duro	2 GB en la unidad de disco C:
Sistemas operativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Windows 7 Home Premium o superior (solo STEP 7 Basic no compatible con STEP 7 Profesional)</li> <li>Windows 7 o superior (Profesional, Interprise, Ultimate).</li> </ul>
Tarjeta gráfica	32 MB RAM Intensidad de color 24 bits
Resolución de pantalla	1024 x768
Red	Ethenet 20 Mbits/s o más rápido.
Unidad óptica	DVD - ROM

Fuente: (SIEMENS-PLC, 2019)

- 1 Módulo arranque electrónico de motores de inducción por PLC ( S7-1200).
- 1 Cable cruzado Ethernet.

#### **4.1.3. ENERGIZACIÓN**

- Conectar suministro de energía eléctrica trifásico alterna de 380 voltios, neutro y tierra de protección indicados en el módulo.
- Verificar los interruptor principal diferencial e interruptor termomagnético de fuerza y mando presentando el estado de inactivo.
- Verificar con voltímetro los voltajes de ingreso en cada bornera del módulo.

#### **4.1.4. ARRANQUE DIRECTO DE MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA POR CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.**

- Accionar interruptor termomagnético Q1, verificar parámetros eléctricos de alimentación en analizador de redes SENTRON PAC 4200 Siemens.
- Programación de controlador lógico programable PLC.
- Conexión de equipos y componentes de módulo según plano eléctrico de arranque directo de motor eléctrico (véase plano 2.2).
- Regular la tensión de salida de autotransformador trifásico variable de 15KVA a 220 VAC.
- Regular la sensibilidad de guardamotor de protección para motores a 4.5 Amperios
- Instalar la pinza amperimétrica en modo de transitorios y voltímetro alterno.
- Medir y registrar 15 muestras de la corriente de arranque, obtener el promedio.
- Complementando el estudio de la curva de corriente de arranque de motor se empleó el analizador de redes METREL modelo MI 2892 (véase anexo D) en modo forma de onda.

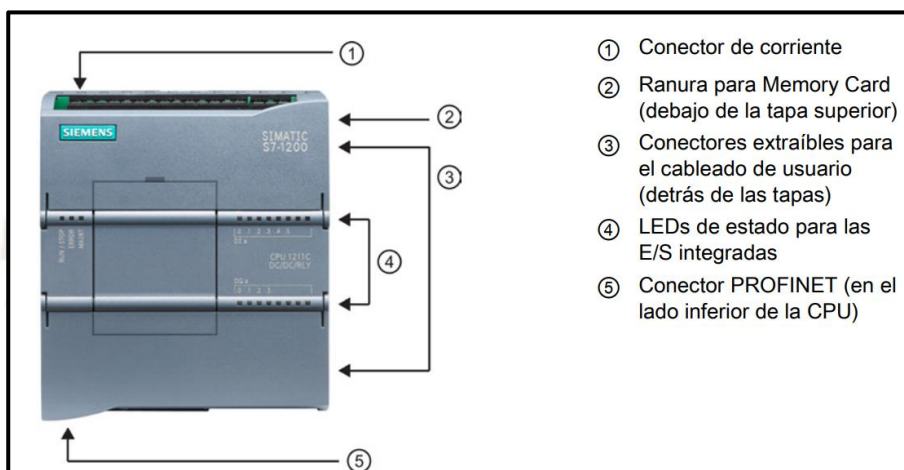
#### 4.1.4.1. Programación de controlador lógico programable PLC S7-1200

- **Introducción al PLC S7-1200**

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador. Una vez cargado el programa en la CPU, esta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos

inteligentes. La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Hay disponibles módulos adicionales para la comunicación en redes PROFIBUS, GPRS, RS485 o RS232 (SIEMENS-PLC, 2019).

**Figura 4.1 Partes de PLC SIMATIC S7- 1200**

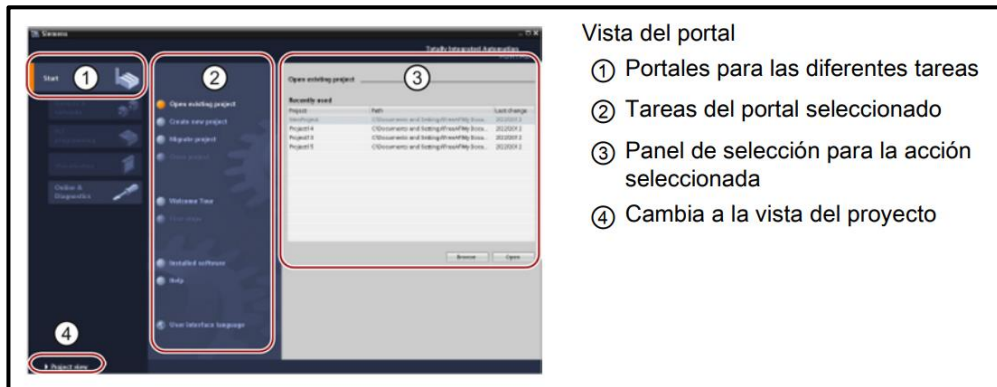


Fuente: SIEMENS-PLC, 2019

- **Programa STEP 7 (TIA PORTAL)**

STEP 7 proporciona un entorno de fácil manejo para programar la lógica del controlador, configurar la visualización de HMI y definir la comunicación por red. Para aumentar la productividad, STEP 7 ofrece dos vistas diferentes del proyecto, a saber: Distintos portales orientados a tareas y organizados según las funciones de las herramientas (vista del portal) o una vista orientada a los elementos del proyecto (vista del proyecto). El usuario puede seleccionar la vista que considere más apropiada para trabajar eficientemente. Con un solo clic es posible cambiar entre la vista del portal y la vista del proyecto (SIEMENS-PLC, 2019).

**Figura 4.2 Vista de portal**



Fuente: SIEMENS-PLC, 2019

Puesto que todos estos componentes se encuentran en un solo lugar, es posible acceder fácilmente a todas las áreas del proyecto. La ventana de inspección, por ejemplo, muestra las propiedades e información acerca del objeto seleccionado en el área de trabajo. Si se seleccionan varios objetos, la ventana de inspección muestra las propiedades que pueden configurarse. La ventana de inspección incluye fichas que permiten ver información de diagnóstico y otros mensajes. La barra de editores agiliza el trabajo y mejora la eficiencia, ya que muestra todos los editores que están abiertos. Para cambiar entre los editores abiertos, basta con hacer clic sobre el editor en cuestión. También es posible visualizar dos editores simultáneamente, ya sea en mosaico vertical u horizontal (SIEMENS-PLC, 2019).

**Figura 4.3 Vista de proyecto**



Fuente: SIEMENS-PLC, 2019

Inicio de desarrollo de programación de PLC s7 – 1200 para el sistema de bombeo hidroneumático aplicando instrucciones de lógica de bits.

Designar con una etiqueta a las direcciones de entrada y salida del PLC. Los elementos de control están dominados en la tabla 4.2 (DNAUT, 2019).

**Tabla 4.2 Tabla de entradas y salidas digitales**

N°	Denominación	Etiqueta	Dirección
1	Selector automático - manual	Aut - Man	%I0.0
2	Pulsador de paro	Paro	%I0.0
3	Pulsador de marcha	Marcha	%I0.1
4	Contacto de presostato	SPres	%I0.3
5	Salida para arranque de bomba eléctrica	QBomba	%Q0.0

Fuente: Elaboración propia

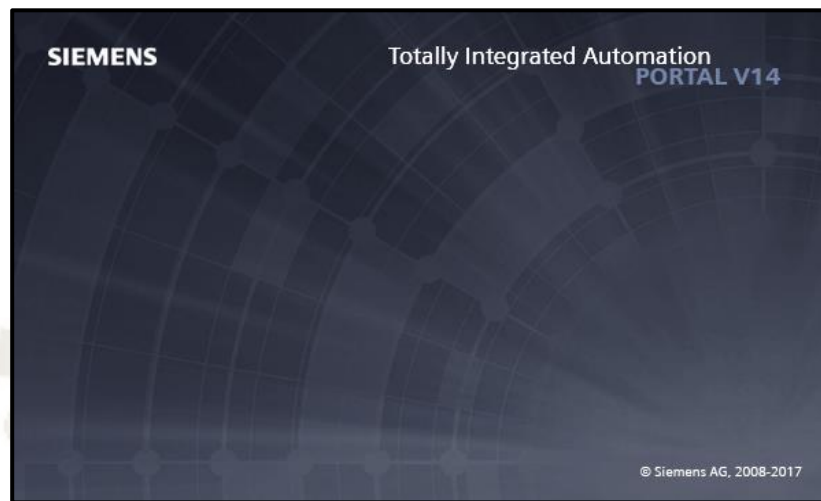
Ejecutar el programa Tia Portal con el icono de TIA Portal V14 en el escritorio.

**Figura 4.4 Icono de TIA PORTAL**



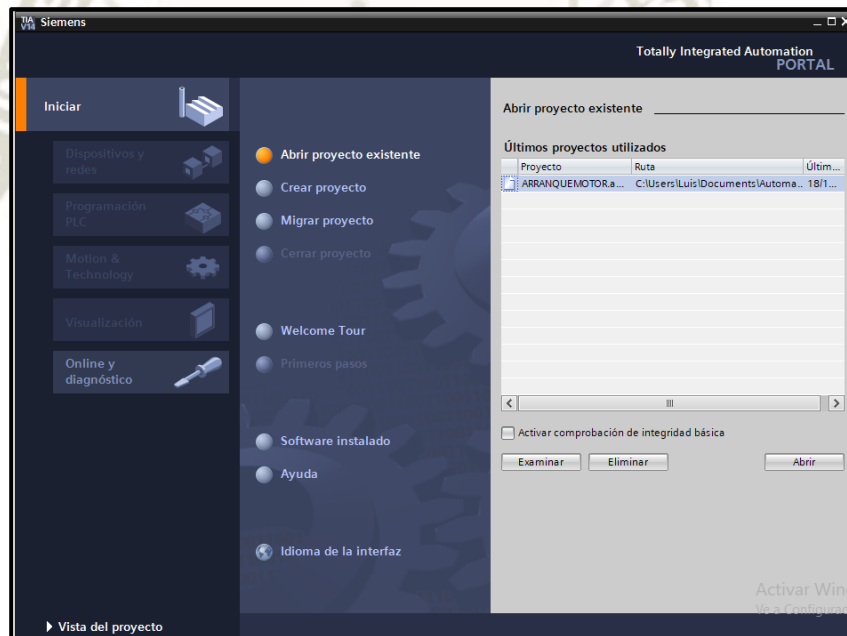
Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.5 Software TIA PORTAL V14**



Fuente: Elaboración propia

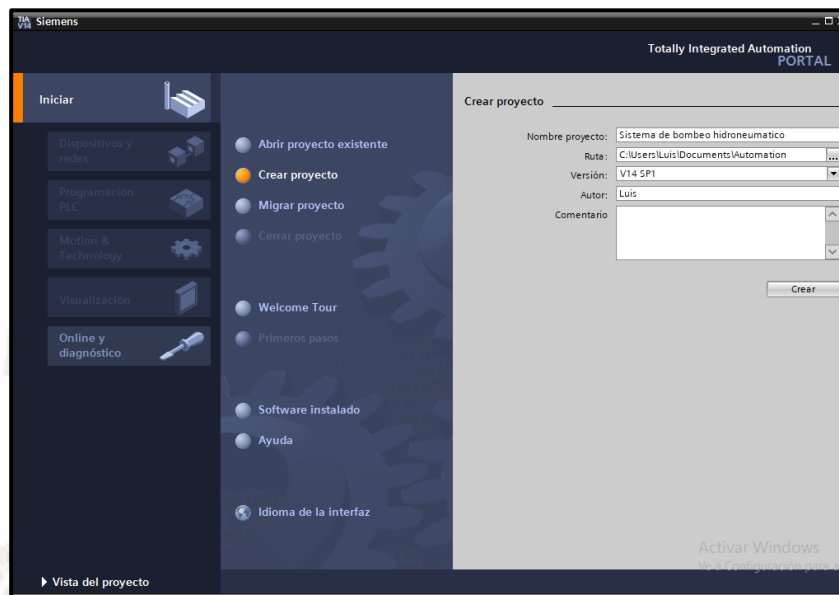
**Figura 4.6 Portal de inicio de software**



Fuente: Elaboración propia

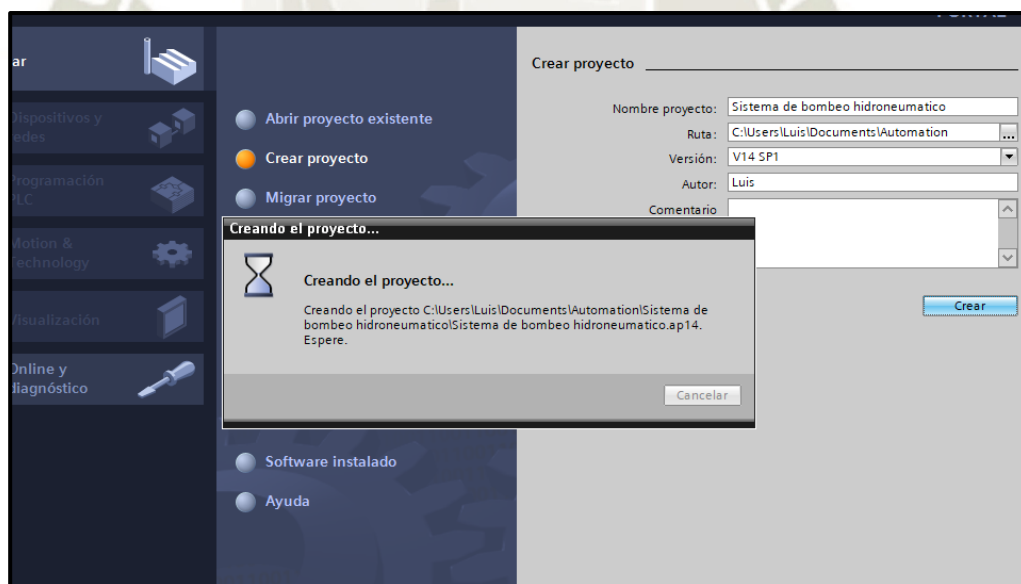
Una vez en el portal de inicio del programa Seleccionar “Crear proyecto”, ubicarse en “Nombre de proyecto” digitar Sistema de bombeo hidroneumático posterior dar clic en “Crear”.

**Figura 4.7 Crear proyecto**



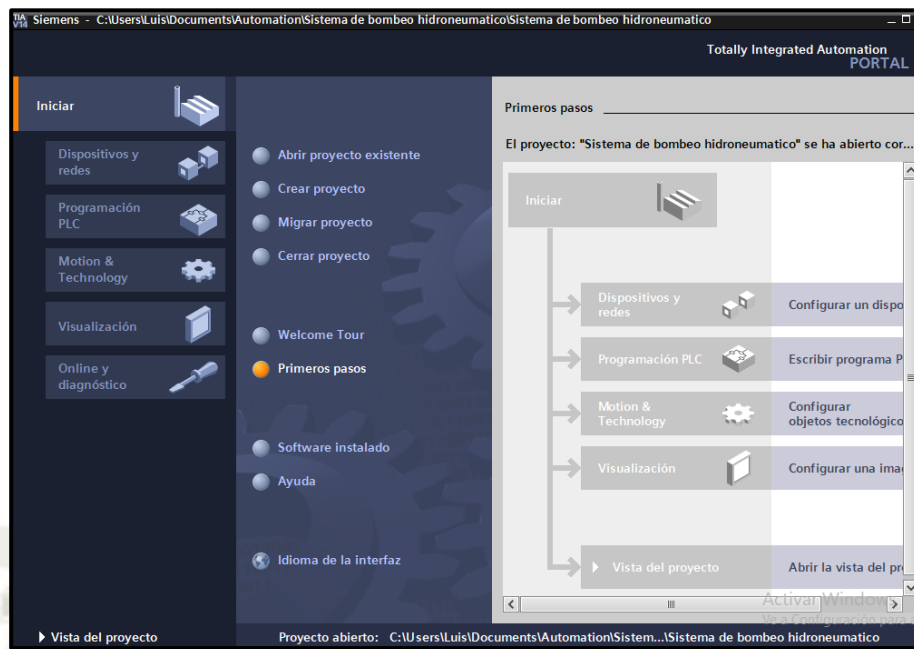
Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.8 Creando proyecto**



Fuente: Elaboración propia

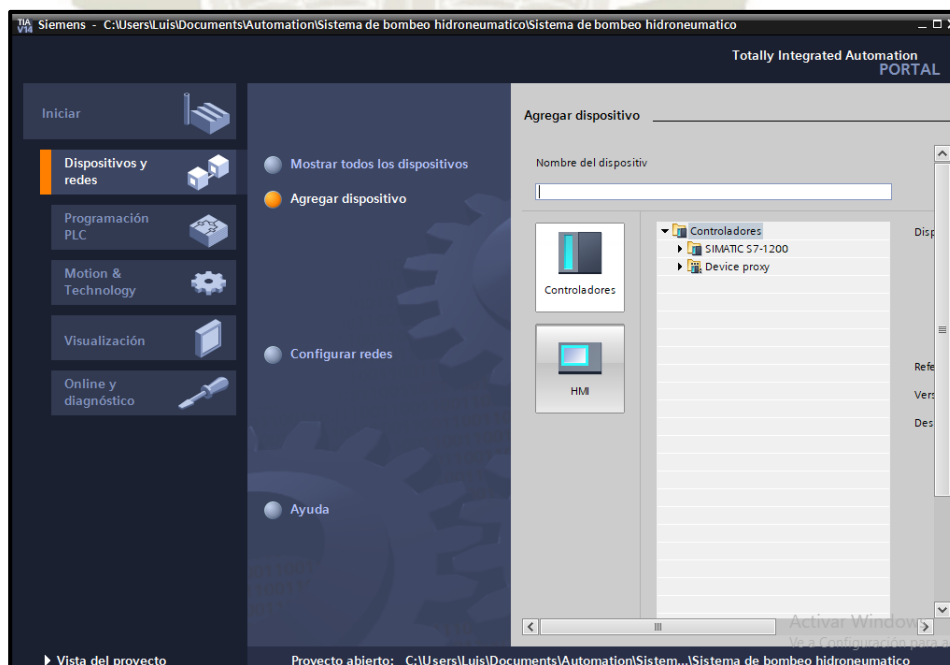
**Figura 4.9 Primer paso, proyecto creado**



Fuente: Elaboración propia

Una vez en la ventana de la figura 4.9 seleccionar “Dispositivos y redes” y luego “Crear proyecto”.

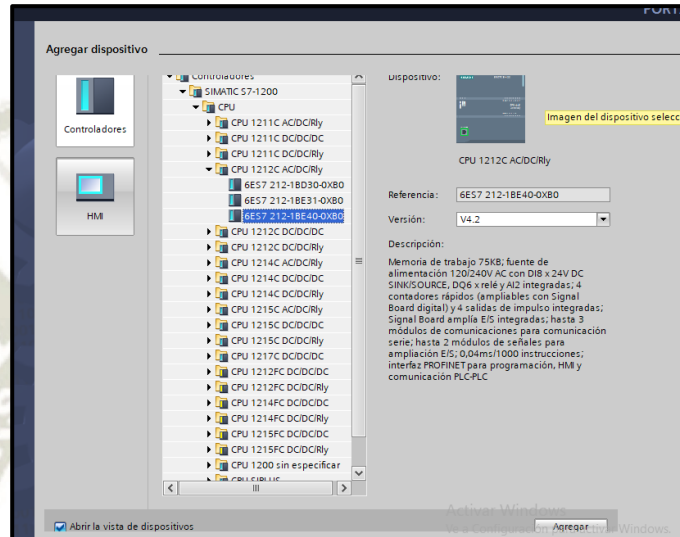
**Figura 4.10 Ventana de dispositivos y redes**



Fuente: Elaboración propia

Desplegar “Controladores”, “Simatic”, “CPU” y seleccionar “CPU 1212C AC/DC/RLY” y referencia “6ES7 212-1BE40-0XBO” mostrado en la parte frontal y lateral derecha del PLC, confirmar los seleccionado y dar clic en el botón “Agregar”

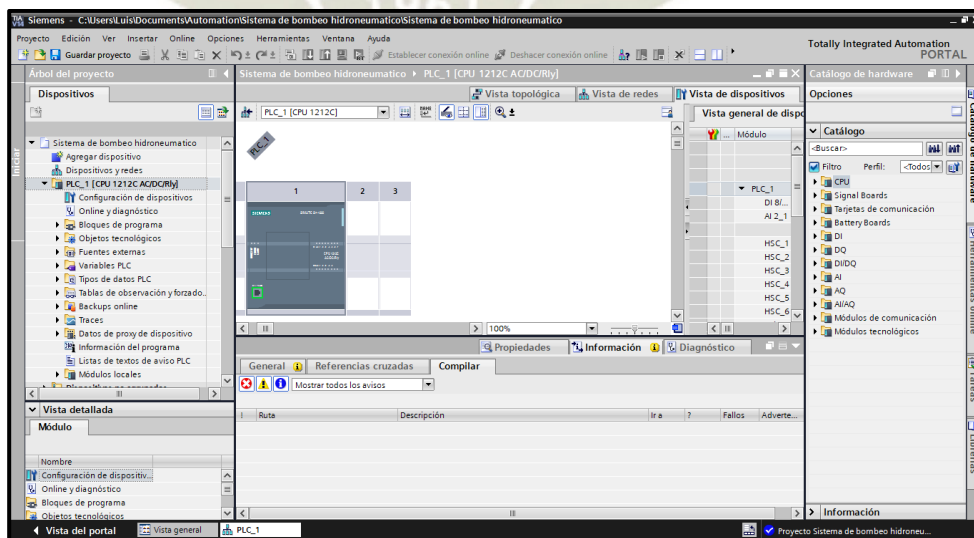
**Figura 4.11 Ventana de selección de CPU**



Fuente: Elaboración propia

En la ventana vista de proyecto creado de figura 4.12 ubicarse en el área de ARBOL DE PROYECTO, revisar figura 4.3. Para la creación de las variables de entradas y salidas del PLC designadas en la tabla 4.1.

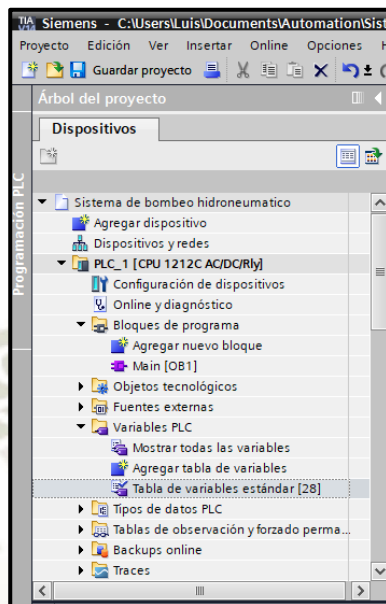
**Figura 4.12 Vista de proyecto creado**



Fuente: Elaboración propia

En el área de ARBOL DE PROYECTO desplegar “PLC 1” seguido de “variables de PLC” en “Tabla de variables estándar [28]” hacer doble clic.

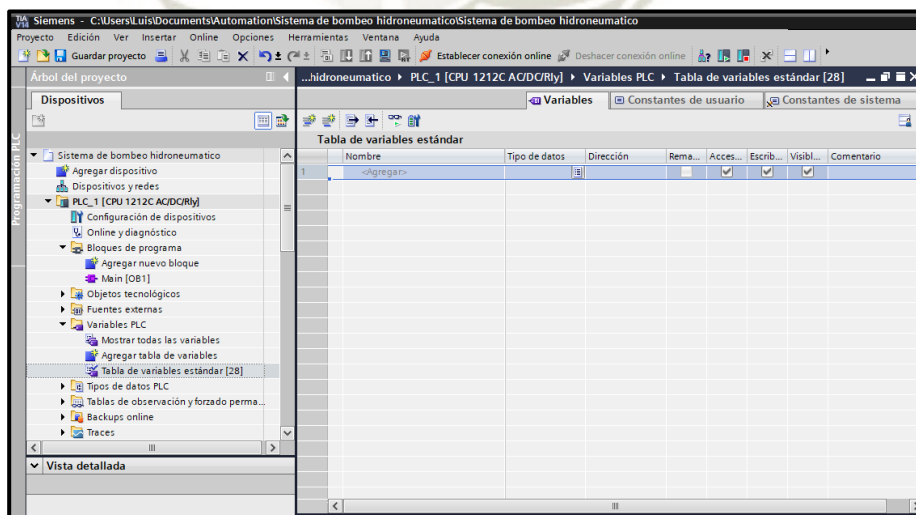
**Figura 4.13** *Árbol del proyecto*



Fuente: Elaboración propia

Se abrirá la ventana de tabla de variables estándar, proceder introducir las etiquetas, entradas y salidas según Tabla 1. Para iniciar ubíquese en “Agregar” y dar clic.

**Figura 4.14** *Tabla de variable estándar*



Fuente: Elaboración propia.

El resultado de agregar variables se aprecia en la figura 4.15

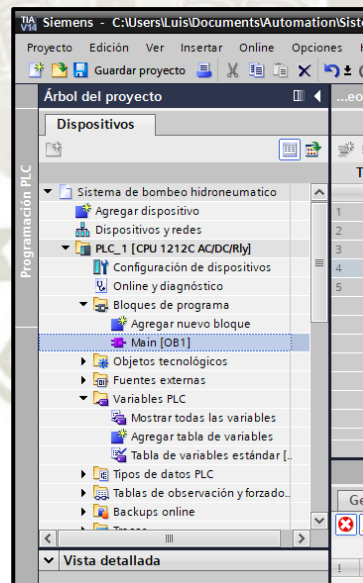
**Figura 4.15 Resultado de tabla de variables estándar**

	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Come
1	Paro	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Marcha	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	SPres	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	QBomba	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Manual - Automático	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	<Agregar>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Fuente: Elaboración propia

Inicio para la creación de programa aplicando el lenguaje de programación KOP lógica de esquema de contactos. Ubicarse en el área de ARBOL DEL PROYECTO, desplegar “Bloques de programa” seleccionar “Main [OB1]” y dar doble clic izquierdo.

**Figura 4.16 Selección de programación KOP**

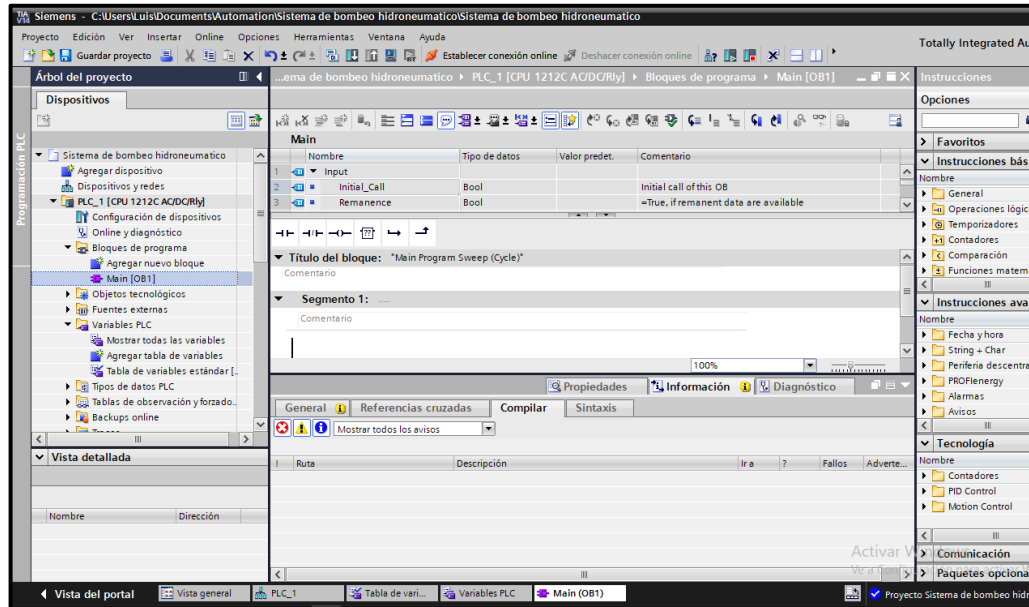


Fuente: Elaboración propia

Se mostrara en el área de trabajo el editor de programación, ver figura 4.17

Para una mejor visualización del editor, contraer la ventana de inspección ver figura 4.3 “Vista de proyecto”.

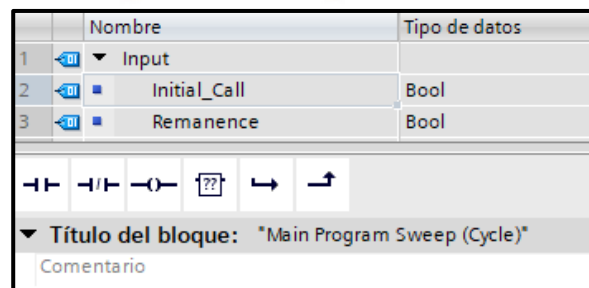
**Figura 4.17 Editor de programación**



Fuente: Elaboración propia

En el área de trabajo se muestra la barra de instrucciones de uso frecuente o favoritas (contacto normalmente abierto, contacto normalmente cerrado, bobina, cuadro vacío, abrir rama y cerrar rama) para la inserción de las instrucciones seleccionar el “Segmento 1” y arrastrar o dar doble clic sobre la instrucción a insertar paralelamente se creara el “Segmento 2”. Las instrucciones de uso frecuente también lo podemos insertar desde el panel de la derecha donde se hallan todas las instrucciones.

**Figura 4.18 Barra de instrucciones de uso frecuente o favoritas**

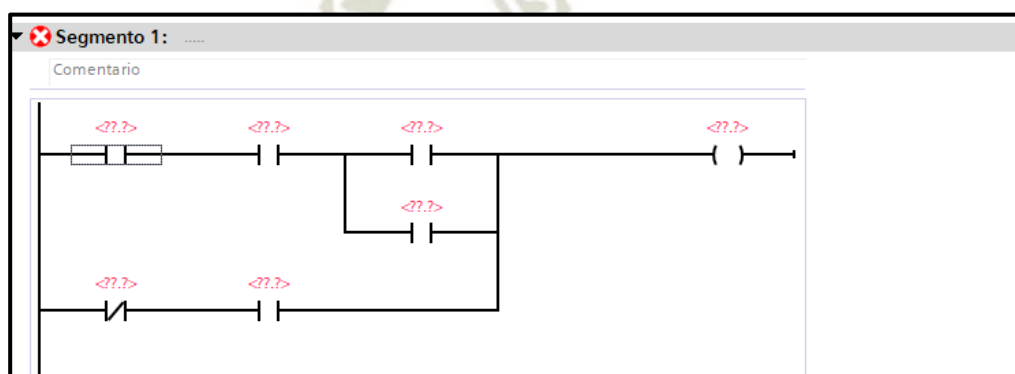


Fuente: Elaboración propia

Inicie la programación insertando las instrucciones:

- 1.- Seleccionar y arrastre la instrucción “Contacto normalmente abierto” e insértelo en “Segmento 1”
- 2.- Seleccione la barra de potencial derecho luego seleccione y arrastre “Abrir rama” posterior inserte la instrucción “Contacto normalmente abierto”
- 3.- Seleccione y arrastre la instrucción “Cerrar rama”, el resultado es dos contactos en paralelo.
- 4.- Seleccione, arrastre e inserte dos instrucciones “Contacto normalmente abierto” en serie en la primera fila y una instrucción “Contacto normalmente abierto” en la segunda fila.
- 5.- Seleccionar y arrastrar la instrucción “Abrir rama”, se mostrara un indicador cuadrado de color verde e insertar entre los dos contactos normalmente abierto insertados en el paso 4 de la primera columna.
- 6.- Seleccionar y arrastrar la instrucción “Contacto normalmente abierto” e insertar en la rama abierta.
- 7.- Seleccionar y arrastrar la instrucción “Cerrar rama” e insertar seguidamente del contacto normalmente abierto del paso 6.
- 8.- Seleccionar y arrastrar la instrucción “Asignación” (bobina) en la terminación del segmento. El resultado se muestra en la figura 4.19 (DNAUT, 2019).

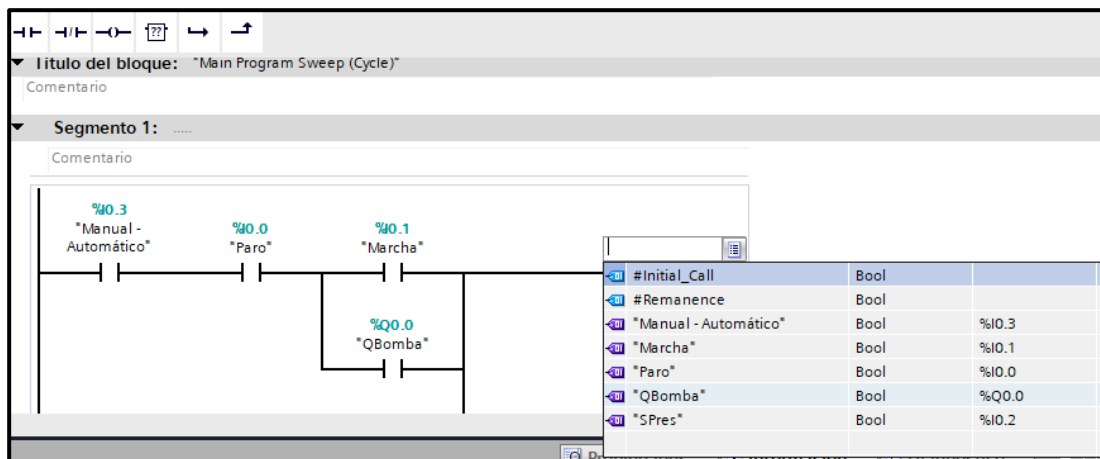
**Figura 4.19 Contactos y bobinas de programación**



Fuente: Elaboración propia

7.- Asignar variables a los contactos y bobinas dando doble clic en <??.?> y digitar el correspondiente al contacto o bobina, el programa mostrara el contenido insertadas en la tabla de variables estándar y seleccionar la etiqueta correspondiente al contacto o bobina ver figura 4.20.

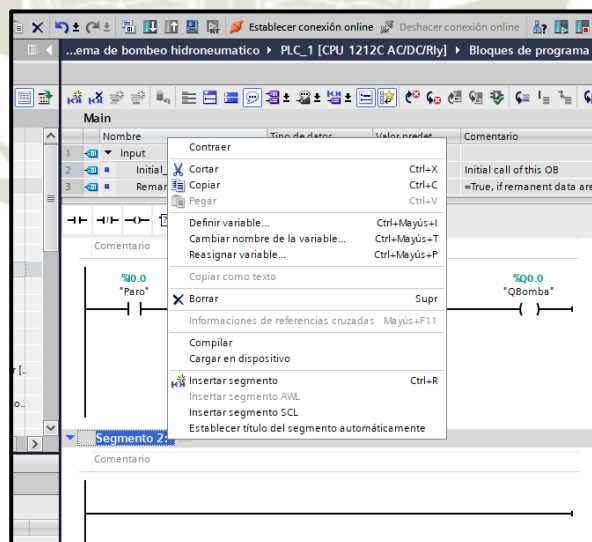
**Figura 4.20 Inserción de variables a contactos y bobinas**



Fuente: Elaboración propia

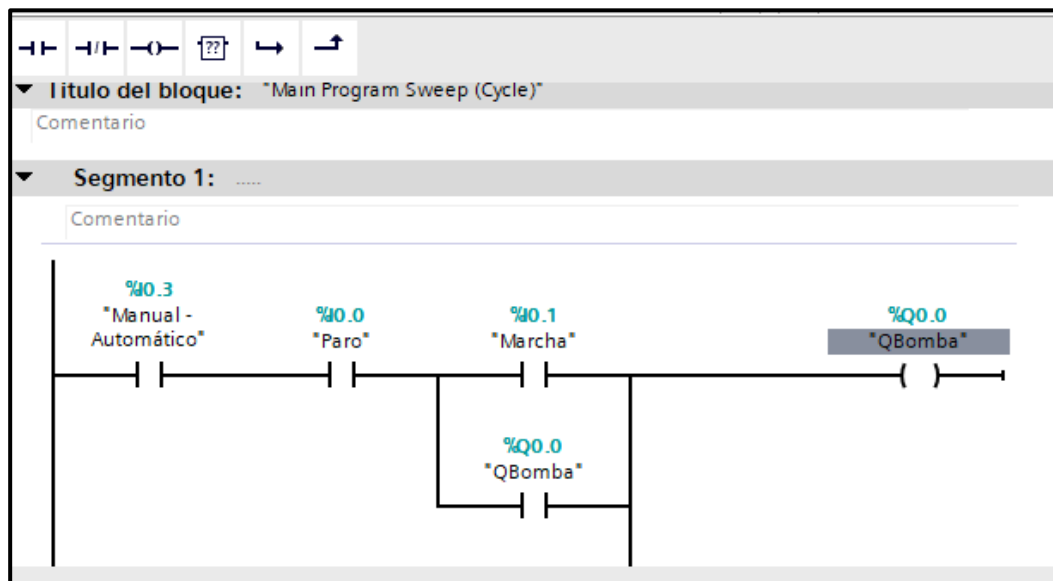
Seleccionar "Segmento 2" dar clic derecho y "Borra" ver figura 4.21

**Figura 4.21 Borrado de segmento 2**



Fuente: Elaboración propia

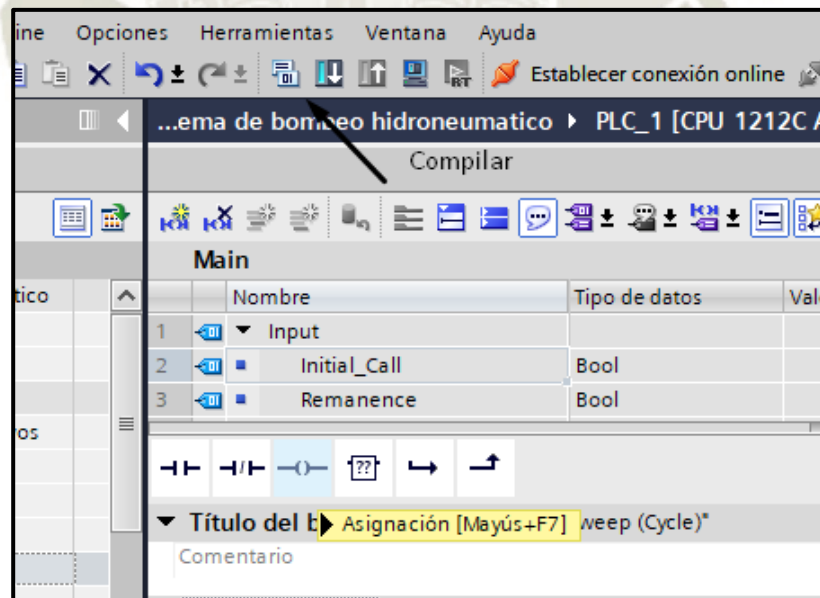
**Figura 4.22 Resultado final de programación**



Fuente: Elaboración propia

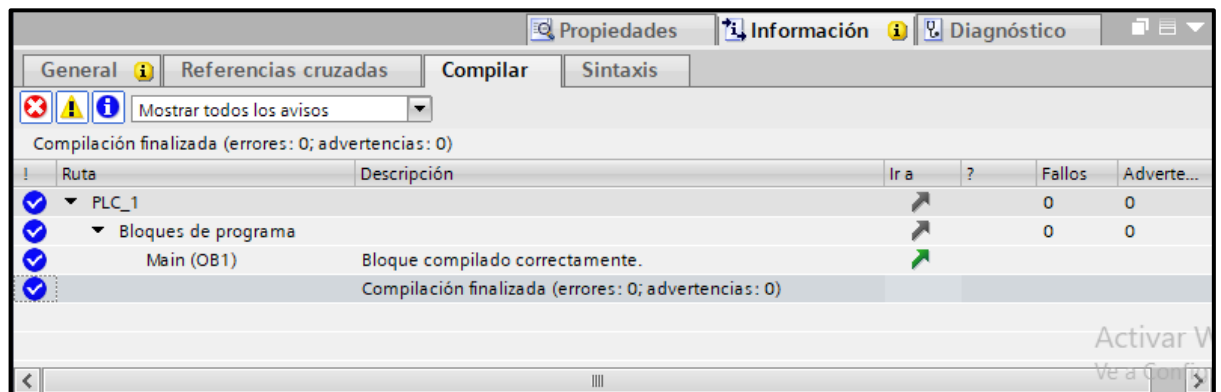
Finalizado el programa compilar para que no existan errores dando clic en el icono “Compilar” mostrado en la figura 4.23.

**Figura 4.23 Compilado de programa**



Fuente: Elaboración propia

*Figura 4.24 Compilado correcto del programa*

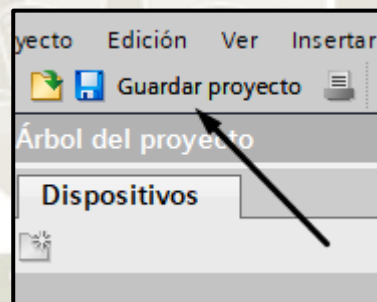


Fuente: Elaboración propia

En la ventana de inspección ver figura 4.24 en la pestaña “Información” seguido de “Compilar” se muestra “errores: 0; advertencia: 0” confirmando la correcta compilación del programa.

Posterior al compilado dar clic en “Guardar proyecto” mostrado en la figura 4.25 (DNAUT, 2019).

*Figura 4.25 Ventana guardar programa*



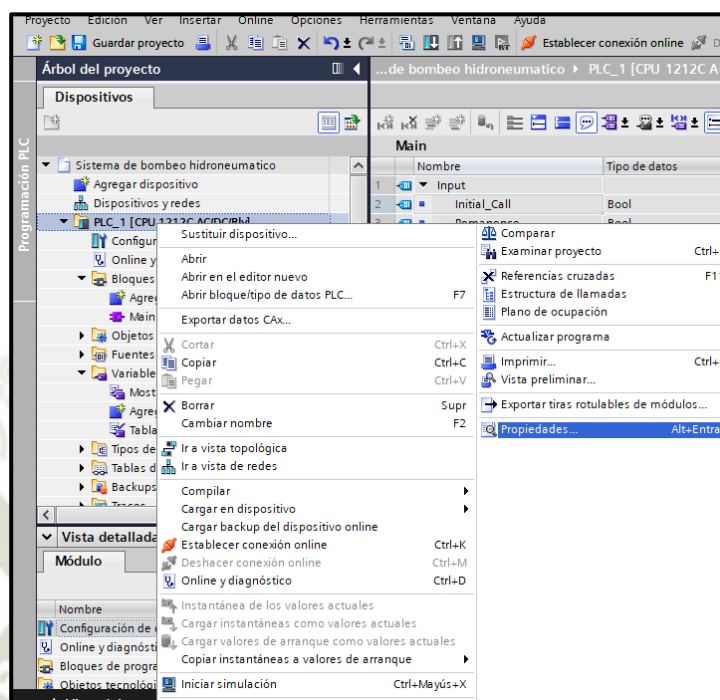
Fuente: elaboración propia

#### 4.1.4.2. Transferencia del programa al PLC.

La comunicación del PLC y la computadora personal PC se realiza mediante el protocolo de comunicación de Ethernet por ello se asignara a cada componente con una dirección de protocolo de internet IP y mascara subred.

En la ventana “Árbol del proyecto” seleccione PLC\_1 y dar clic derecho, se desplegara un menú posterior seleccione “Propiedades” ver figura 4.26.

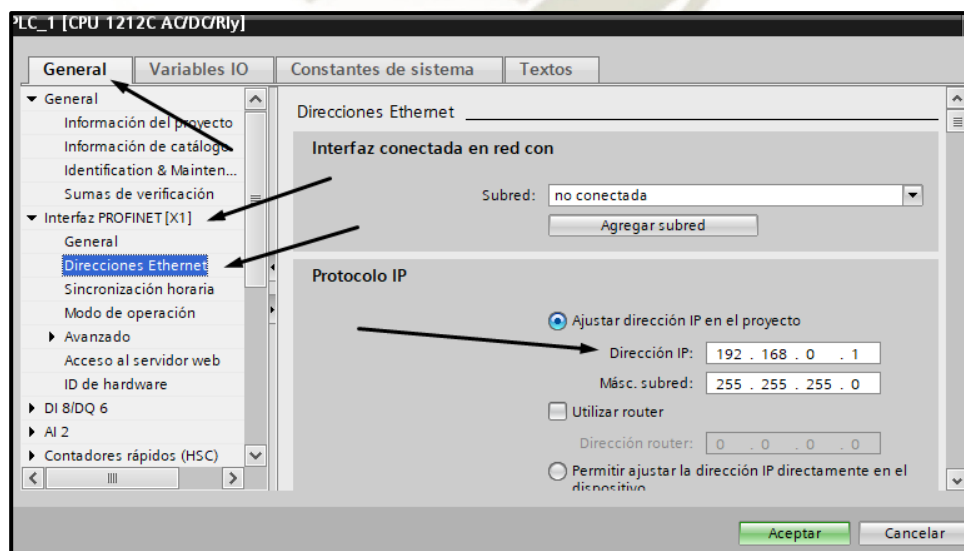
**Figura 4.26 Propiedades de PLC\_1**



Fuente: Elaboración propia

En la ventana “General “de la figura 4.27, despliegue “Interfaz PROFINET [X1]” y de clic en “Direcciones Ethernet” asignando al PLC la “Dirección IP:” 192.168.0.1 y “Másc. subred:” 255.255.255.0 y “Aceptar”.

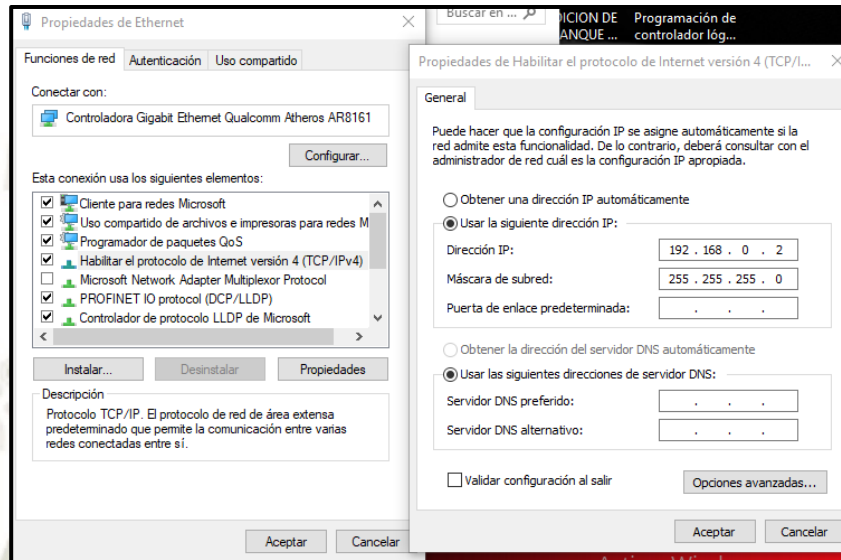
**Figura 4.27 Ajuste de dirección IP y máscara subred en el proyecto**



Fuente: Elaboración propia

Ubicar “Propiedades de Ethernet” para la asignación de dirección de IP para la PC en “Dirección IP:” 192.168.0.2 y “Mascara de subred:” 255.255.255.0 y selecciona “Aceptar” seguido de “cerrar”.

**Figura 4.28 Asignación de dirección IP y Mascara subred a PC**



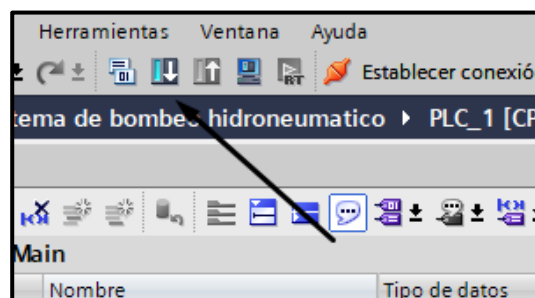
Fuente: Elaboración propia

Adquirir cable de Ethernet cruzado de 2 metros aproximado, conecte al PLC Y PC.

Energizar el PLC, a continuación encenderán los led’s de testeo del PLC de no haber conflictos de comunicación u otros problemas el led “Run/Stop” de mantendrá encendido en color verde.

Para transferir el programa al PLC ubíquese en icono de “Cargar en dispositivo” ver figura 4.29.

**Figura 4.29 Icono de descarga en dispositivo**

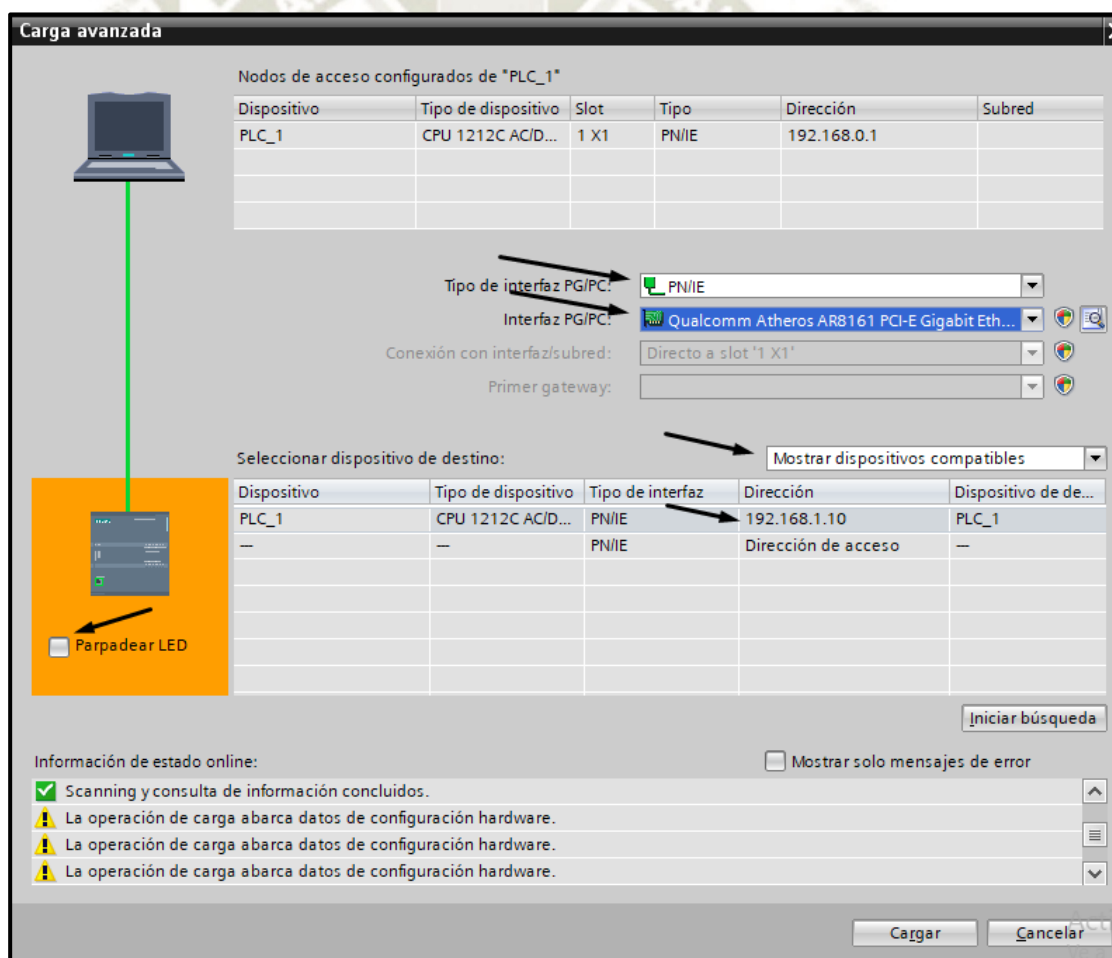


Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.30 en “Tipo de interfaz PG/PC:” seleccionar “PN/IE”, el programa determinara automáticamente la tarjeta de comunicación mostrando en “Interfaz PG/PC” “Qualcomm Atheros AR PCI-E-Gigabit Ethernet Controller”, luego en “Seleccionar dispositivo de destino:” elegir “Mostrar dispositivos compatibles” y presione “iniciar búsqueda”.

La búsqueda identificara al PLC como dispositivo “PLC\_” y dirección “192.168.1.10” para confirma la comunicación entre la PC y el PLC de clic en la casilla de “Parpadear LED”, parpadearan los led’s de “RUN/STOP”, “ERROR” y “MANT”. Desactivar la casilla de “Parpadear LED” y dar clic en “Cargar” (DNAUT, 2019).

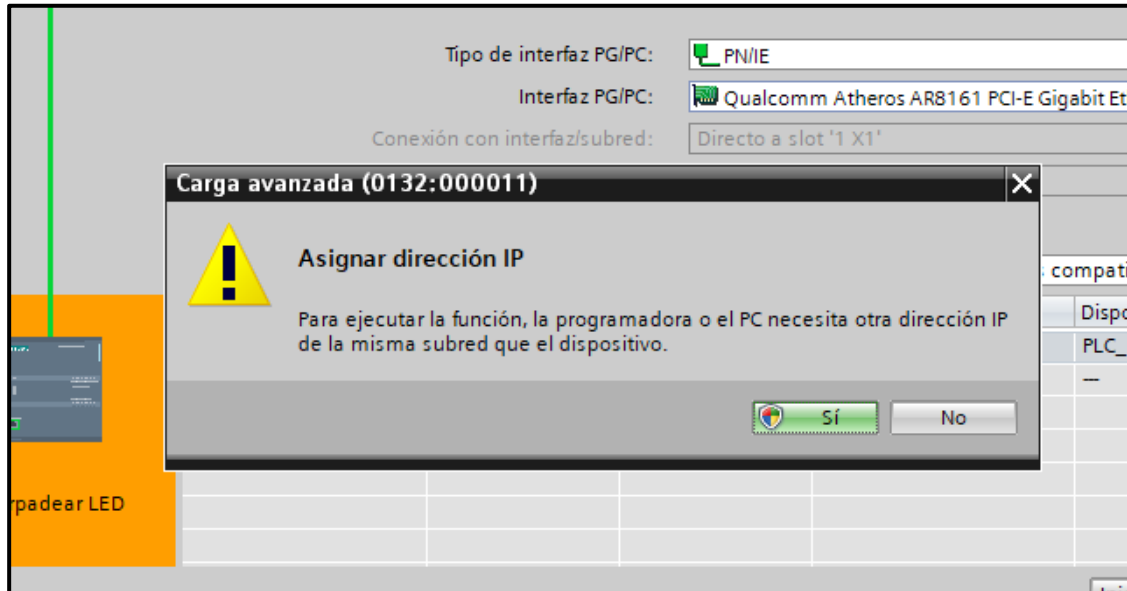
**Figura 4.30 Selección de destino y carga avanzada**



Fuente: Elaboración propia

Se abrirá la ventana de advertencia indicando en cambio de dirección IP de la misma subred que el dispositivo, dar clic en “Si”.

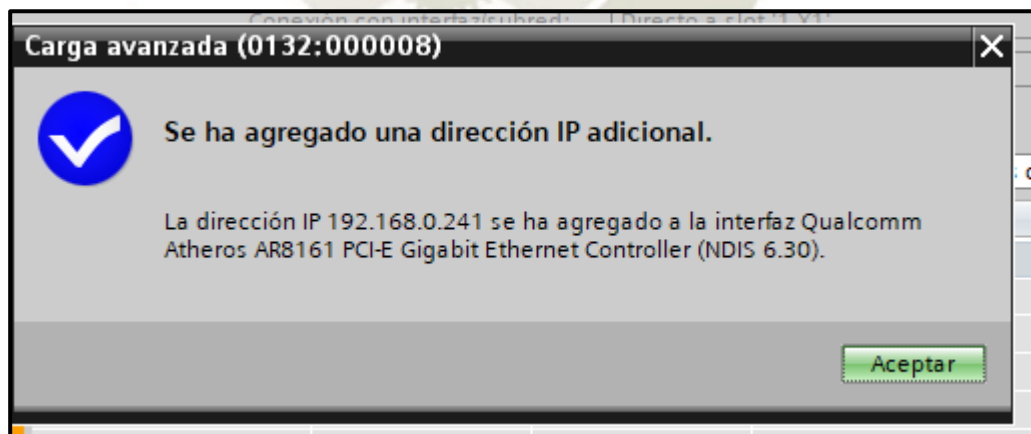
**Figura 4.31 Advertencia de asignar IP**



Fuente: Elaboración propia

El programa agregara la dirección IP 192.168.0.241 ver figura 4.32 compatible con la dirección IP del PLC. Dar clic en “Aceptar”

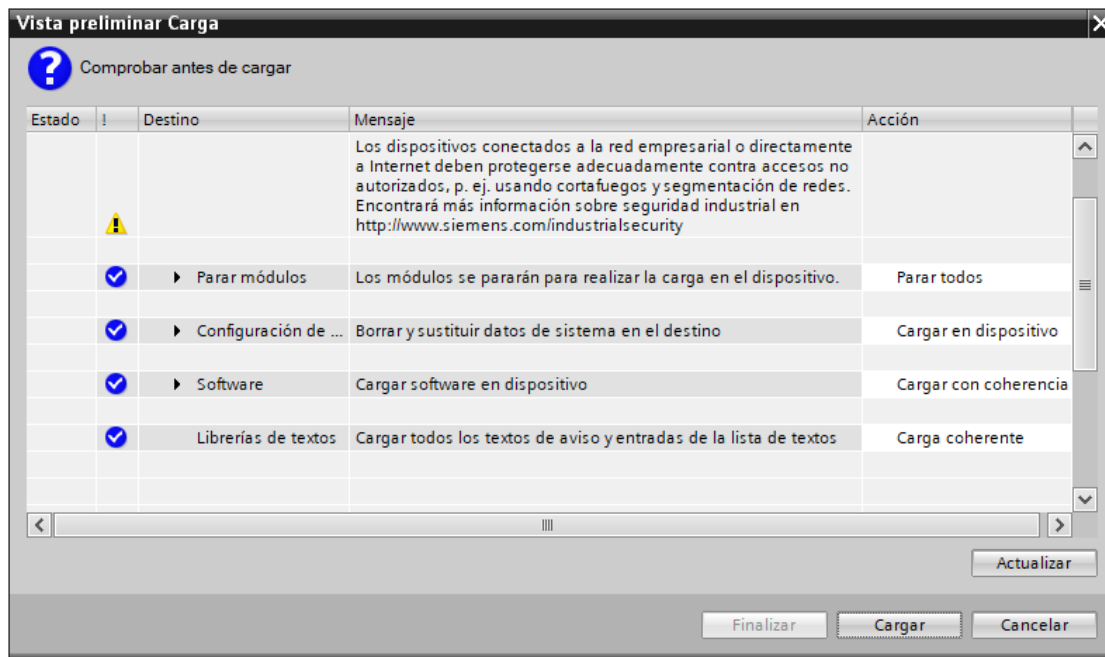
**Figura 4.32 Ventana de agregado de dirección IP adicional**



Fuente: Elaboración propia

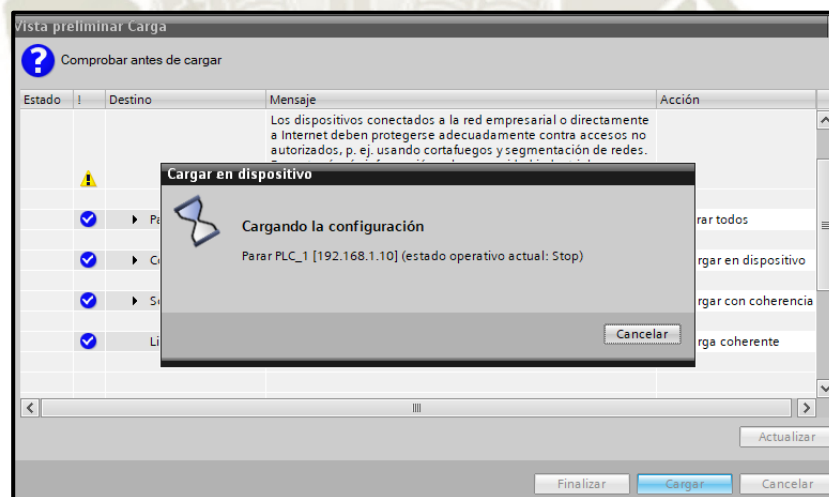
En la figura 4.33. Dar clic en “Cargar”

**Figura 4.33 Vista preliminar de carga**



Fuente: Elaboración propia

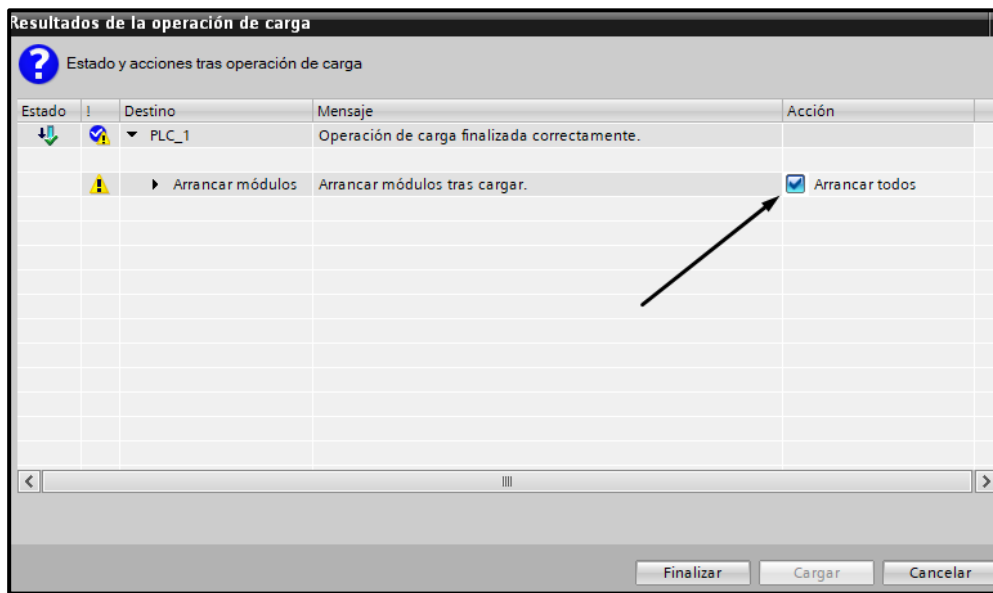
**Figura 4.34 Ventana de carga de confirmación**



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.35 de ventana de resultados de la operación de carga, seleccionar la casilla “Arrancar todos” y dar clic en “Finalizar”

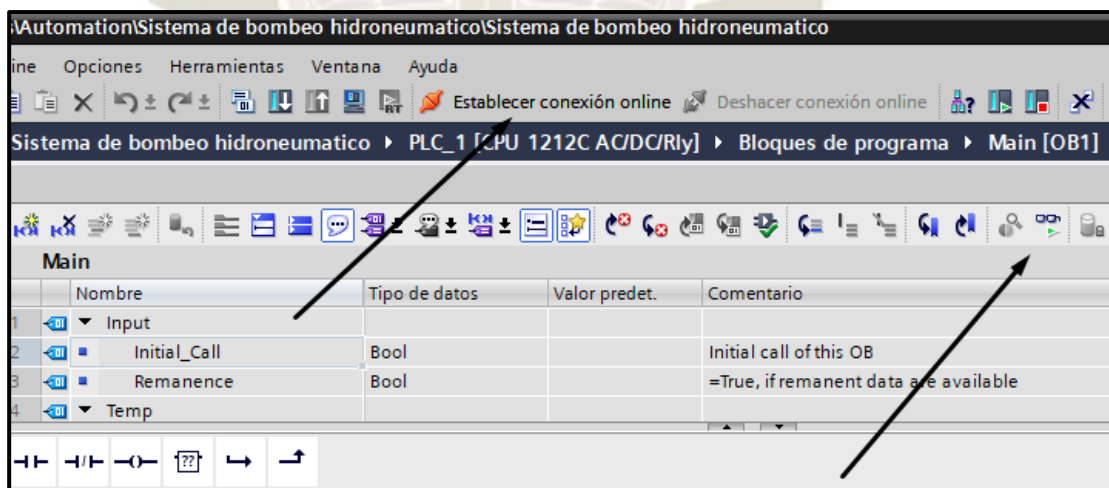
**Figura 4.35 Resultado de la operación de carga**



Fuente: Elaboración propia

En la barra de herramientas ubicarse y dar clic en “Establecer conexión online” seguido de “Activar / desactivar observación” para observar el funcionamiento. Ver figura 4.36.

**Figura 4.36 Establecer conexión de online**

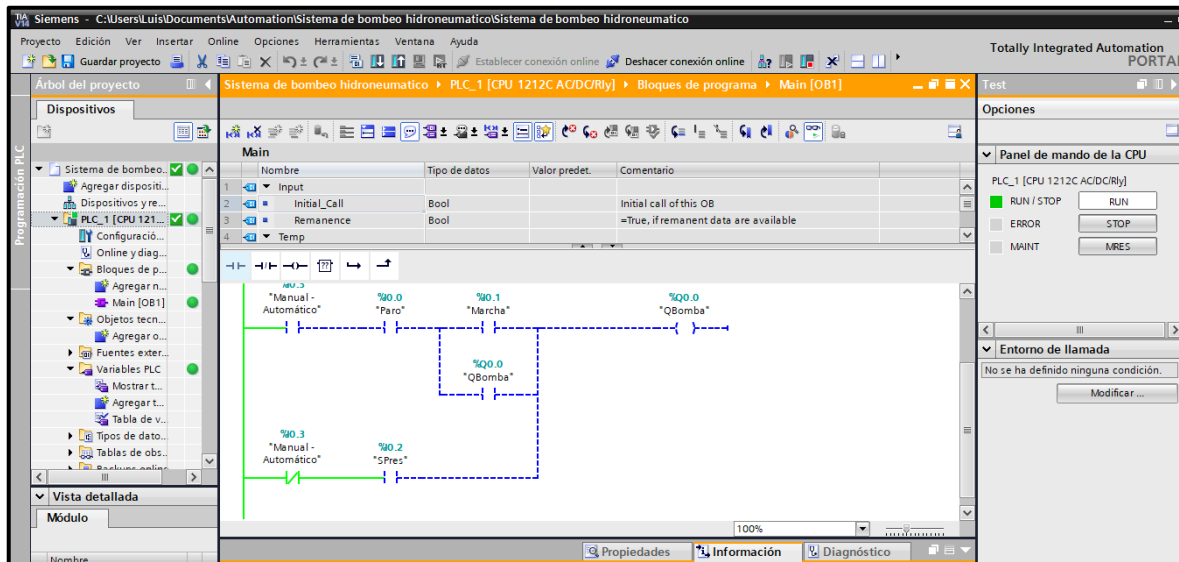


Fuente: Elaboración propia

Las entradas del programa están inactivas mostrándose de color azul ver figura 4.37, estas al ser activadas o energizadas se pondrán de color verde. Para la observación y seguimiento de funcionamiento del programa realizar

la conexión física según plano de conexión ver plano (2.2) del módulo de arranque electrónico de motores de inducción (DNAUT, 2019).

**Figura 4.37 Observación y seguimiento de funcionamiento del programa**



Fuente: Elaboración propia

## **4.2. PROGRAMACIÓN DE VARIADOR DE VELOCIDAD ATV 28 DE SCHNEIDER ELECTRIC.**

### **4.2.1. Objetivo General**

Programación básica de variador de velocidad ATV 28 de Schneider Electric en la aplicación de arranque electrónico con inversión de giro de motor eléctrico para un sistema de bombeo hidroneumático por controlador lógico programable PLC S7-1200 de Siemens.

### **4.2.2. Objetivos Específicos**

Descripción del equipo, conocer el entorno de programación por panel y ejecución del programa del variador de velocidad ATV 28 de Schneider Electric.

Relacionar en arranque directo frente al arranque electrónico de motores de inducción.

#### **4.2.2.1. Material y Equipo**

- 1 Módulo arranque electrónico de motores de inducción por PLC (S7-1200).

### **4.2.3. ENERGIZACION**

- Conectar suministro de energía eléctrica trifásico alterna de 380 voltios, neutro y tierra de protección indicados en el módulo.
- Verificar los interruptor principal diferencial e interruptor termomagnético de fuerza y mando presentando el estado de inactivo.
- Verificar con voltímetro los voltajes de ingreso en cada bornera del módulo.

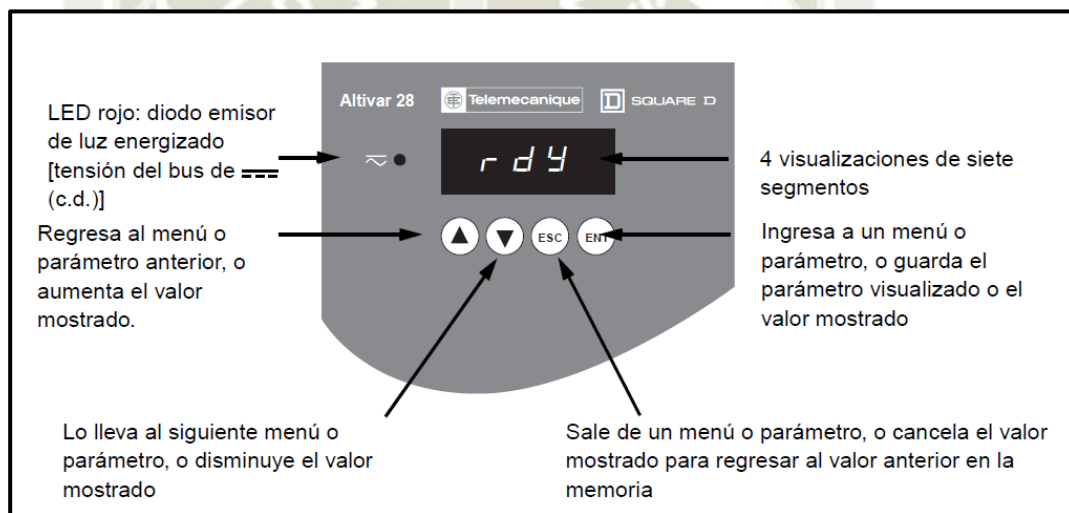
### **4.2.4. ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA.**

- Accionar interruptor termomagnético Q1, verificar parámetro eléctricos de alimentación en analizador de redes SENTRON PAC 4200 Siemens.
- Programación de variador de velocidad ALTIVAR 28
- Conexionado de equipos y componentes de módulo según plano eléctrico de arranque directo de motor eléctrico (véase plano2.3).

- Regular la tensión de salida de autotransformador variable de 15KVA a 220 VAC.
- Regular la sensibilidad de guardamotor de protección para motores a 4.5 Amperios
- Instalar amperímetro, voltímetro, frecuencímetro y tacómetro.
- Complementando el estudio de la curva de corriente de arranque de motor se empleó el analizador de redes METREL modelo MI 2892 (véase anexo E) en modo forma de onda.

#### 4.2.4.1. Terminal de programación y ajustes.

*Figura 4.38 Panel de programación*

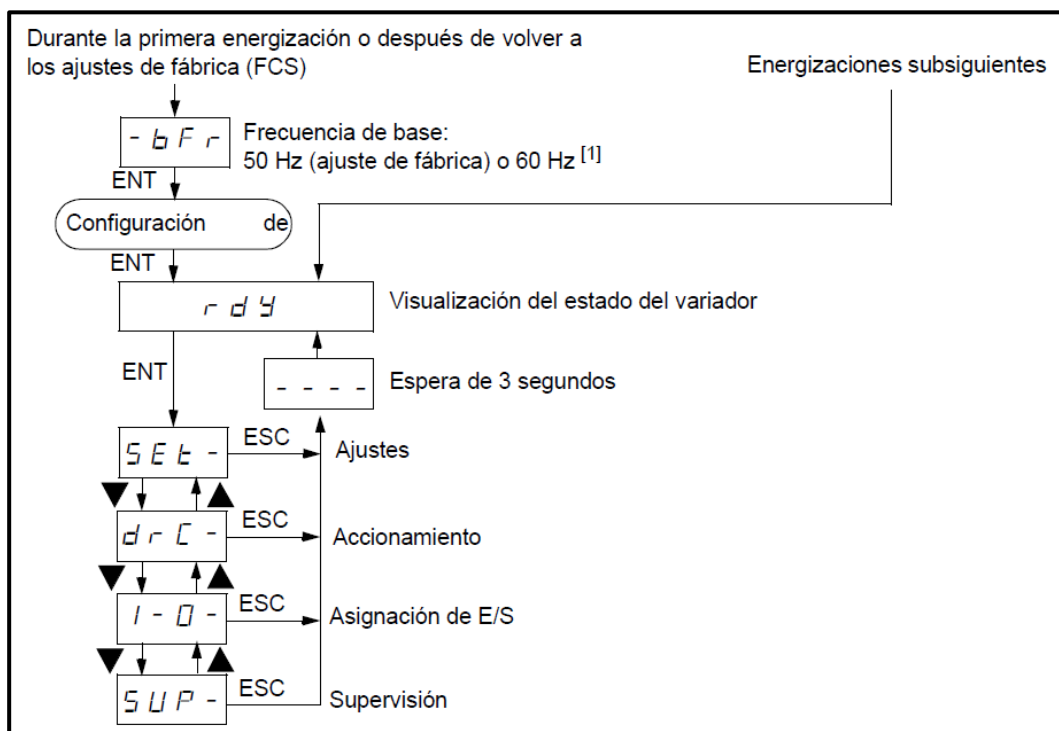


Fuente: Schneider-Electric-ATV28, 2002

##### 4.2.4.1.1. Acceso a los menús

Para la visualización de los parámetros en el display se mostrara “bfr” seguido de la frecuencia de 50 Hz (ajuste de fábrica) o 60 Hz. Presiones el botón “ENT” mostrado en la figura 4.38 , cambiando el display a “rdy” visualizando el estado del variador, presionar de nuevo “ENT” y se mostrara en el display “SEt” para el inicio de los ajustes. Continuar los procedimientos mostrados en la figura 4.39 y figura 4.40 (Schneider-Electric-ATV28, 2002).

**Figura 4.39 Acceso a los menús**



Fuente: Schneider-Electric, 2003

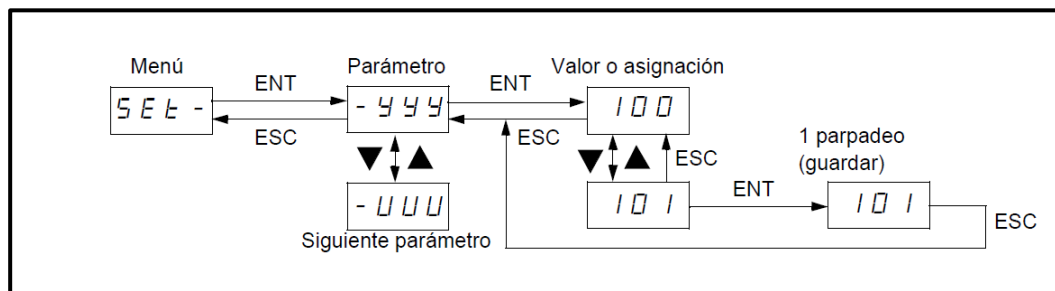
**4.2.4.1.2. Advertencia.**

El ajuste correcto del parámetro bFr es importante ya que afecta a varias funciones del variador. En los modelos de 208/230 V y 400/460 V, este parámetro viene ajustado de fábrica en 50 Hz. Al poner en servicio uno de estos modelos para utilizarse con un sistema de 60 Hz, primero realice un restablecimiento a los parámetros de fábrica y luego ajuste bFr en 60. Como los modelos de 575 V son adecuados sólo para 60 Hz, no se mostrará el parámetro bFr (Schneider-Electric-ATV28, 2002).

Existen tres tipos de parámetros:

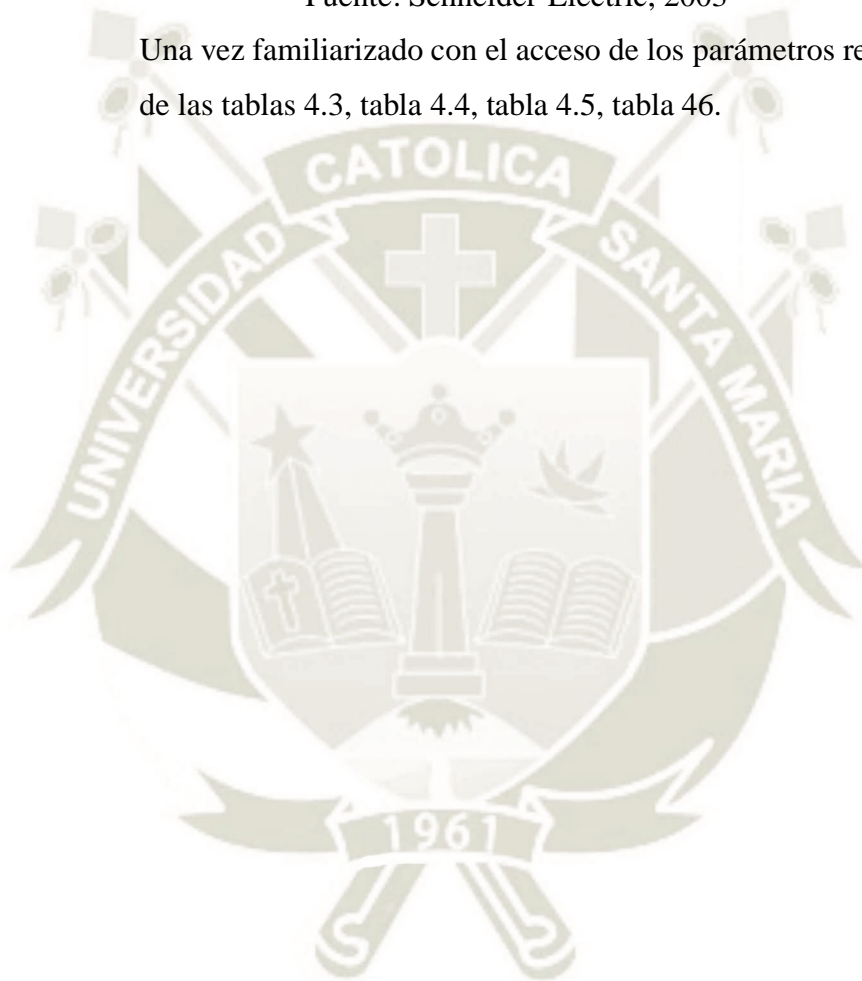
- Visualización: valores mostrados por el variador.
- Ajuste: se puede cambiar mientras el variador está funcionando o parado.
- Configuración: se puede modificar solamente cuando se ha parado el controlador y no se está frenando el motor. Es posible visualizar los parámetros durante el funcionamiento (Schneider-Electric-ATV28, 2002).

**Figura 4.40 Acceso a los parámetros**



Fuente: Schneider-Electric, 2003

Una vez familiarizado con el acceso de los parámetros revisar los códigos de las tablas 4.3, tabla 4.4, tabla 4.5, tabla 4.6.



#### 4.2.4.1.3. Menú de ajustes SEt

*Tabla 4.3 Menú de ajustes SEt*

CÓDIGO	ASIGNACIÓN	AJUSTE
ACC	Tiempo de rampa de aceleración de motor	4.3
DEC	Tempo de rampa de desaceleración de motor	3.0
LSP	Velocidad baja	1.0
HSP	Velocidad alta: asegúrese de que este ajuste sea apropiado para el motor	60.0
ITH	Corriente utilizada para protección de motor.	6.8
UFr	Permite optimizar el par a velocidades muy bajas.	20
FLG	Ganancia de bucle de frecuencia.	33
IdC	Nivel de corriente de frenado por inyección de c.d.	8.0
tdC	Tiempo de frenado por inyección de c.d. durante una pausa.	0.5
JPF	Evita una velocidad crítica que puede conducir a la resonancia.	0.0
SP2	2da velocidad preseleccionada.	_____
SP3	3ra velocidad preseleccionada.	_____
tL5	Tiempo de funcionamiento en velocidad baja	0.0

Fuente: Schneider-Electric, 2003

#### 4.2.4.1.4. Menú de accionamiento drC.

Los parámetros Frt, SFr, nrd y SdS se pueden ajustar mientras está funcionando el variador. Pare y bloquee el variador de velocidad para modificar los demás parámetros. Para optimizar el rendimiento del variador, ingrese los valores especificados en la placa de datos y realice un autoajuste (en un motor asíncrono estándar).

*Tabla 4.4 Menú de accionamiento drC*

CÓDIGO	ASIGNACIÓN	AJUSTE
Un5	Tensión nominal del motor que se muestra en la placa de datos.	220.0
Fr5	Frecuencia nominal del motor que se muestra en la placa de datos.	60.0
tFr	Frecuencia máxima de salida.	80.0
UFt	Selección del método de control.	L
brA	Aumenta automáticamente el tiempo de desaceleración de la rampa.	YES
Frt	Frecuencia de conmutación de rampas.	0.0
SFr	Frecuencia de conmutación. Ajuste para reducir el ruido audible por el motor	4.0
nrd	Esta función modula de forma aleatoria la frecuencia de conmutación para reducir el ruido del motor.	YES
Atr	Rearranque automático después de inhabilitar el variador debido a una falla, siempre que esta haya desaparecido y las demás condiciones de funcionamiento permitan el rearranque.	no
OPL	Permite activar la falla de pérdida de fase del motor.	YES
IPL	Permite activar la falla de fase de la red de alimentación.	no
StP	Parada controlada al producirse una pérdida en la red de alimentación.	no
FLr	Activa la recuperación automática en un motor que da vueltas después de los siguientes sucesos de falla.	no
dnr	Permite reducir el umbral de disparo de la falla USF para funcionar en una red de alimentación reducida al 60% de la tensión nominal de línea.	no
SdS	Factor de escala del parámetro de supervisión SPd (menú - SUP) que se utiliza para graduar un valor proporcional a la frecuencia de salida, la velocidad de la maquina o la velocidad del motor.	_____
FCS	Retorno a los ajustes de fábrica.	_____

Fuente: Schneider-Electric, 2003

#### 4.2.4.1.5. Menú de asignación I-O-

Se pueden modificar los parámetros de E/S sólo si se detiene el variador y no se está ejecutando un comando de marcha.

*Tabla 4.5 Menú de asignación de entradas y salidas*

CÓDIGO	ASIGNACIÓN	AJUSTE
tCC	Configuración de control del bloque de terminales: control 2 hilos ó 3 hilos.	3C
LI2	Entrada lógica.	For
LI3	Entrada lógica.	rrS
LI4	Entrada lógica.	JOG
AIC	Entrada analógica AIC o AI2	SAI
CrL	Valor mínimo en la entrada AIC, ajustable entre 0 y 20 mA.	4.0
CrH	Valor máximo en la entrada AIC, ajustable entre 4 y 20mA	20.0
AO	Salida analógica.	rfr
AOt	Salida analógica	0.0
r2	Relé R2	SrA
Add	Dirección del variador cuando se controla a través de una conexión en serie	1
bdr	Velocidad de transmisión de la conexión en serie.	19.2

Fuente: Schneider-Electric, 2003

*Tabla 4.6 Menú de supervisión SUP*

<b>CÓDIGO</b>	<b>ASIGNACIÓN</b>	<b>Unidad</b>
FrH	Visualiza la referencia de frecuencia	Hz
rFr	Visualiza la frecuencia de salida aplicada al motor	Hz
SPd	Visualiza la velocidad calculada por el variador ( $rFr \times SdS$ )	---
LCr	Visualiza la corriente del motor A	A
OPr	Visualiza la potencia suministrada al motor y estimada por el variador.	%
ULn	Visualiza la tensión de línea	V
tHr	Visualiza el estado térmico del motor: el 100% corresponde al estado térmico nominal del variador.	%
tHd	Visualiza el estado térmico del variador: el 100% corresponde al estado térmico nominal del variador.	%
LFt	Visualiza la última falla. Si no hay una falla, la pantalla muestra: noF.	---
CPU	Versión de firmware del variador	---

Fuente: Schneider-Electric, 2003

Una vez verificados los parámetros ingresar los datos registrados en placa del motor trifásico WEG de 1.5 Hp como: Voltaje nominal de alimentación, frecuencias de trabajo de mínimo y máximo, corriente nominal y otros parámetros asignados en la tabla 4.7.

*Tabla 4.7 Tabla de programación de variador de velocidad*

<b>CÓDIGO</b>	<b>MENU SEt - ASIGNACIÓN</b>	<b>Unidad</b>
ACC	Tiempo de rampa de aceleración de motor	4.3
DEC	Tempo de rampa de desaceleración de motor	3.0
LSP	Velocidad baja (Hz)	1.0
HSP	Velocidad alta: asegúrese de que este ajuste sea apropiado para el motor (Hz)	60.0
ITH	Corriente utilizada para protección de motor.	6.8
<b>CÓDIGO</b>	<b>MENU drC-ASIGNACIÓN</b>	<b>AJUSTE</b>
Un5	Tensión nominal del motor que se muestra en la placa de datos.	220.0
Fr5	Frecuencia nominal del motor que se muestra en la placa de datos.	60.0
tFr	Frecuencia máxima de salida.	80.0
UFt	Selección del método de control.	L
<b>CÓDIGO</b>	<b>MENÚ I/O - ASIGNACIÓN</b>	<b>AJUSTE</b>
tCC	Configuración de control del bloque de terminales: control 2 hilos ó 3 hilos.	3C

Fuente: Elaboración propia

Realizar la conexión física según plano eléctrico ver plano (2.3) del módulo de arranque electrónico de motores de inducción.

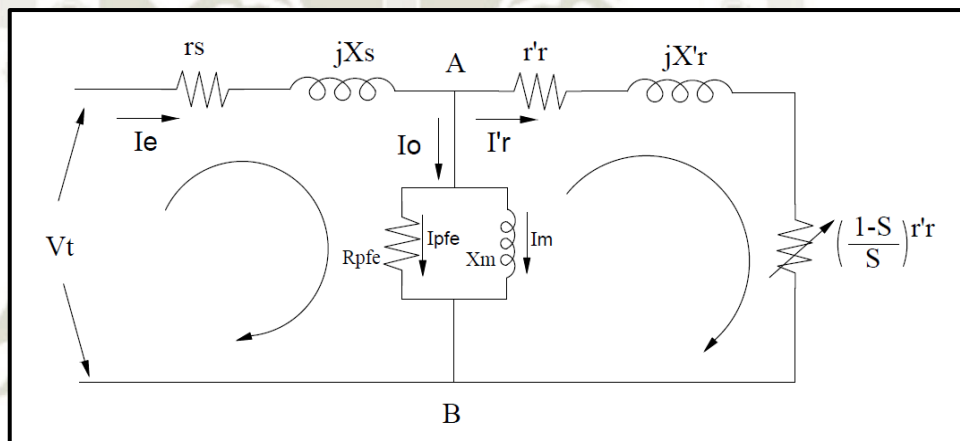
### 4.3. ANÁLISIS DE DATOS DE ARRANQUE TRADICIONAL VS ARRANQUE ELECTRÓNICO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO

#### 4.3.1. ARRANQUE DIRECTO DE MOTOR DE INDUCION TRIFASICO JAULA DE ARDILLA.

##### 4.3.1.1. Calculo de corriente de arranque a partir del circuito equivalente por fase del motor de inducción.

Para la determinación de los parámetros del circuito equivalente por fase se realizó el ensayo de vacío y rotor bloqueado en conexión delta a 220 VAC

*Figura 4.41 Circuito equivalente por fase del motor de inducción trifásico WEG 1.5 Hp*



Fuente: Elaboración propia

Donde:

$$r_s = 8.55 \text{ ohm}$$

$$jX_s = 5.22 \text{ ohm}$$

$$R_{pfe} = 247.38 \text{ ohm}$$

$$X_m = 159.54 \text{ ohm}$$

$$r'r = 2.97 \text{ ohm}$$

$$jX'r = 5.22 \text{ ohm}$$

Calculando corriente de arranque con deslizamiento  $s=1$

$$\text{Resistencia de carga} = \left(\frac{1-s}{s}\right) r'r$$

$$\text{Resistencia de carga} = \left(\frac{1-1}{1}\right) r'r$$

$$\text{Resistencia de carga} = 0$$

Impedancia en los puntos A – B

$$Z_{AB} = \frac{\left(\frac{R_{PFE} * Xm}{R_{PFE} + Xm}\right) * (r'r + jX'r)}{\left(\frac{R_{PFE} * Xm}{R_{PFE} + Xm}\right) + (r'r + jX'r)}$$

$$Z_{AB} = \frac{\left(\frac{(247.38 + j0) * (0 + j159.54)}{R_{PFE} + Xm(247.38 + j0) + (0 + j159.54)}\right) * (2.97 + j5.22)}{\left(\frac{(247.38 + j0) * (0 + j159.54)}{R_{PFE} + Xm(247.38 + j0) + (0 + j159.54)}\right) + (2.97 + j5.22)}$$

$$Z_{AB} = 2.96 + j4.96 \text{ ohm}$$

Impedancia equivalente

$$Z_{eq} = Z_{AB} + (rs + jXs)$$

$$Z_{eq} = (2.96 + j4.96) + (8.55 + j5.22)$$

$$Z_{eq} = 11.51 + j10.18 \text{ ohm} = 15.36 \angle 41.48$$

Corriente de arranque

$$I_{arr} = \frac{V_t}{Z_{eq}}$$

$$I_{arr} = \frac{216.80 \angle 0}{15.36 \angle 41.48}$$

$$I_{arr} = 14.11$$

#### 4.3.1.1.1. Medición de la corriente de arranque directo de motor de inducción WEG 1.5 Hp

Medición de corriente eléctrica de arranque de motor eléctrico trifásico WEG de 1.5 Hp en conexión delta a 220 VAC. Instrumento de medida, pinza amperimétrica CEM Modelo DT – 3368 AC/DC TRMS

*Tabla 4.8 Medición de corrientes de arranque.*

N.-	Corriente de arranque (Amp) RMS
I1	16.8
I2	12.8
I3	14.7
I4	13
I5	21.2
I6	13.7
I7	13.1
I8	13.2
I9	11.6
I10	17.1
I11	19
I12	13
I13	14
I14	17.8
I15	12.9

Fuente: Elaboración propia

Hallando corriente de arranque promedio

$$I_{ap} = \frac{\sum_{n=1}^n I_n}{15}$$

Donde:

$I_{ap}$ : Corriente de arranque promedio

$I_n$ : Corrientes medidas

$$I_{ap} = \frac{16.8 + 12.8 + 14.7 + 13 + 21.2 + 13.7 + 13.1 + 13.2 + 11.6 + 17.1 + 19 + 13.0 + 14 + 17.8 + 12.9}{15}$$

$$I_{ap} = 14.93 \text{ Amp RMS}$$

#### 4.3.2. ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO

Datos registrados en la operación de arranque electrónico en vacío de motor de inducción trifásico WEG de 1.5 Hp.

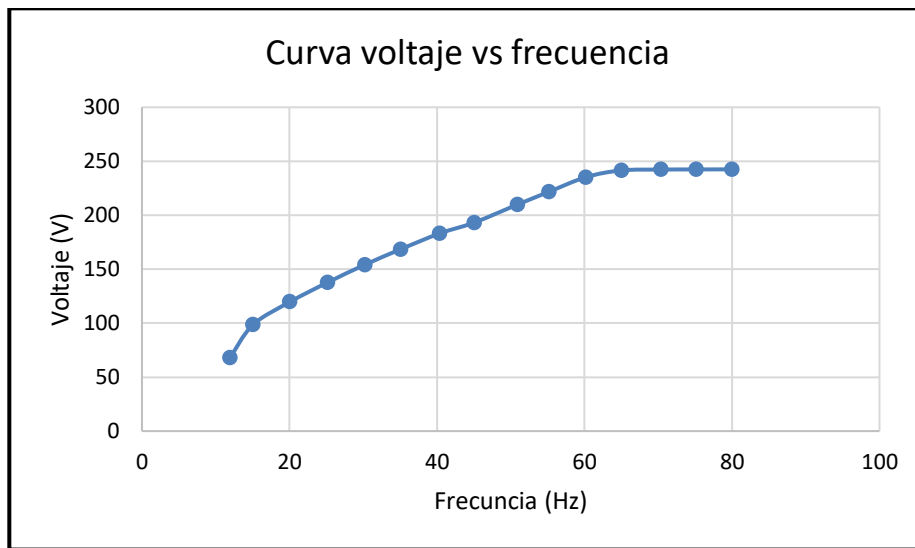
El ajuste de frecuencia a intervalos de 5 Hz en el variador de frecuencia Altivar 28 desde 10 Hz a 80 Hz. El voltaje como la frecuencia registrado y medido al ingreso de motor, la corriente eléctrica medido al ingreso del variador y motor. Los parámetros eléctricos medidos con instrumentos TRUE RMS.

*Tabla 4.9 Registro de parámetros eléctricos y velocidad de operación de arranque electrónico de motor de inducción*

Frecuencia medida (Hz)	Voltaje medido (V)	Velocidad motor (RPM)	Corriente medido motor (Amp)	Corriente medido variador (Amp)
11.96	68.00	357.30	5.20	0.70
15.05	98.50	453.10	5.50	0.80
20.09	119.80	600.80	5.50	0.80
25.19	137.80	754.00	5.60	0.90
30.25	154.20	906.40	5.60	1.00
35.09	168.50	1050.00	5.60	1.00
40.36	183.10	1209.00	5.60	1.00
45.05	193.20	1349.00	5.60	1.10
50.93	209.90	1526.00	5.60	1.10
55.18	221.70	1652.00	5.60	1.20
60.22	235.30	1803.00	5.60	1.20
65.02	241.50	1947.00	5.00	1.20
70.39	242.30	2108.00	4.30	1.20
75.14	242.40	2250.00	3.90	1.10
80.04	242.50	2397.00	3.60	1.10

Fuente: Elaboración propia

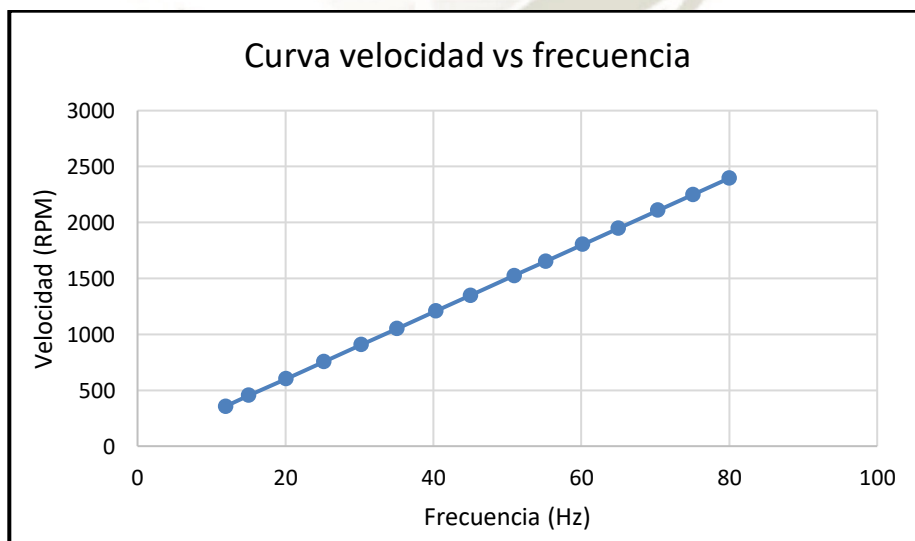
**Figura 4.42 Curva voltaje vs frecuencia**



Fuente: Elaboración propia

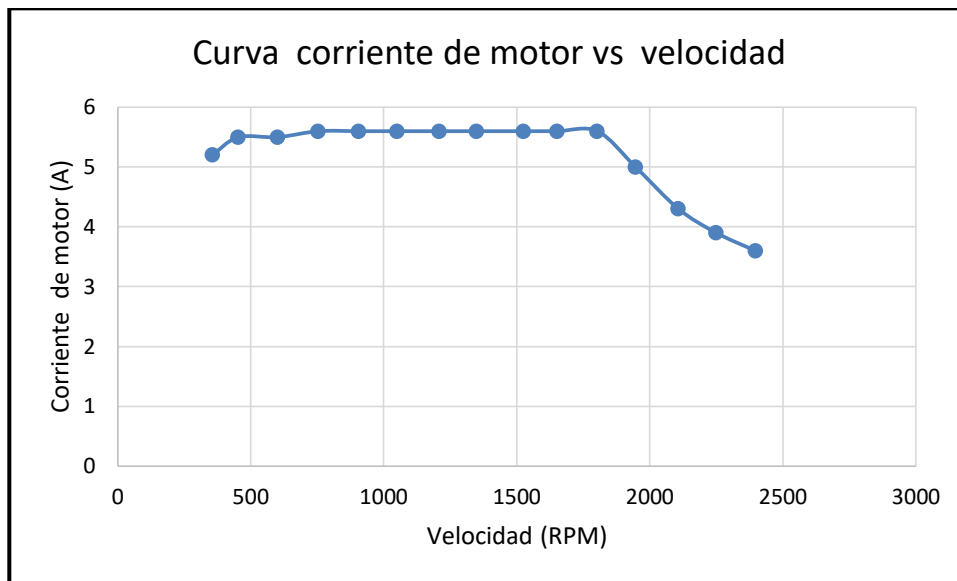
En la figura 4.2 se observa la relación voltaje y frecuencia accediendo proporcionalmente hasta el voltaje nominal de suministro de energía, permaneciendo esta constante y aumentando la frecuencia en el devanado estático hasta la frecuencia programada. Los parámetros registrados son con la operación de motor en vacío, considerando como pérdidas las de fricción en el rodamiento y ventilación.

**Figura 4.43 Curva velocidad vs frecuencia**



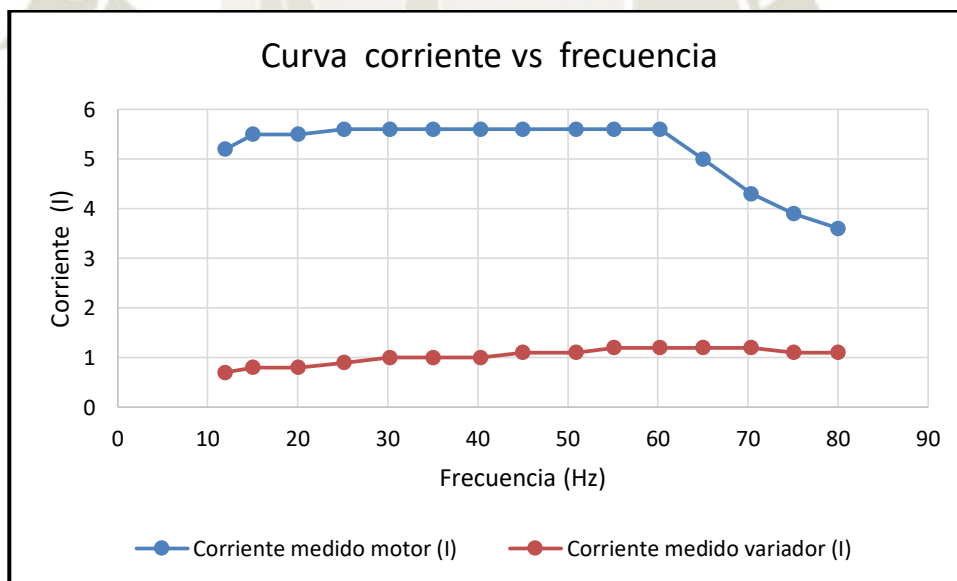
Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.44 Curva corriente de ingreso motor vs velocidad**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.45 Curva de corrientes de ingreso a variador de velocidad e ingreso a motor eléctrico vs frecuencia**



Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V

### 5. COSTOS

#### 5.1. DEFINICIONES

La palabra costo representa el dinero o el equivalente que se entrega a alguien para adquirir bienes y generar un beneficio futuro. Haciendo un flujo de caja, los bienes, se ubican dentro de los activos. Los gastos, a su vez, se definen como los desembolsos de dinero que pueden expresarse en términos monetarios que generan un beneficio y tienen como característica verse reflejado en el estado de resultado.

Los costos de producción y/o de servicios son distribuciones de recursos económicos incurridos y aplicados en la operación de un proceso, fabricación de un producto o en la prestación de un servicio, con la finalidad de generar ingresos o beneficios en el futuro. Representan la base para el costo de los productos o servicios, el proceso de planeación y control, la evaluación del desempeño y la toma de decisiones gerenciales. A medida que se utilizan estos servicios, los costos, se convierten en gastos. Los gastos, vienen a ser los costos que han producido un beneficio y que han expirado, por ellos lo que se consideran costos del periodo y se llevan al estado de resultado en el periodo en que se incurren. Estos gastos son aplicados en el momento en que se venden los artículos, es decir se asocian directamente en la etapa de ventas.

Los costos se agregan a los inventarios de materiales, productos en proceso y productos terminados. Son catalogados como activos en el balance general y son llevados al estado de resultados a medida que los productos elaborados sean vendidos (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

##### 5.1.1. ELEMENTOS DE UN PRODUCTO.

Los elementos del costo de cualquier producto o sus componentes, son los materiales directos, la mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación; esta clasificación suministra la información necesaria para la medición del ingreso y la fijación del precio del producto (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

## 5.2. Materiales:

Los materiales son los principales recursos que se usan en la etapa de producción; estos se transforman en bienes terminados cuando pasan por un proceso de manufactura (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

Pueden identificarse los siguientes tipos:

- Directos: Son todos aquellos que pueden identificarse en la fabricación de un producto terminado, fácilmente se asocian con éste y representan el principal costo de materiales en la elaboración de un producto.
- Indirectos: Son los que están involucrados en la elaboración de un producto, pero tienen una relevancia relativa frente a los directos.
- Costos Indirectos Varios: estos no pueden ubicarse ni en los materiales indirectos ni en la mano de obra indirecta; las depreciaciones, seguros, el consumo de energía eléctrica, agua, arriendos, impuestos, suministros de mantenimientos, son algunos ejemplos (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

También se debe tomar en cuenta:

- Costos de mantenimiento: son los correspondientes a mantener los inventarios a lo largo del tiempo. Por lo tanto, estos incluyen también los que se deben a la obsolescencia de los materiales, almacenamiento, seguros, contratación de personal adicional en caso se necesite y el pago de intereses.
- Costos de preparación: son los costes correspondientes a la preparación de una máquina o proceso para elaborar un pedido. Incluyen el tiempo y el trabajo necesarios para limpiar y cambiar herramientas o instrumentos (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

## 5.3. Mano de obra:

Es el esfuerzo físico o mental empleados para la elaboración de un producto.

- Directa: Es aquella directamente involucrada en la fabricación de un producto terminado, con facilidad se asocia a la elaboración del producto y su costo se ve reflejado en el precio en mayor cuantía.

- Indirecta: Es aquella que no tiene un costo significativo en el momento de la producción del producto, es necesario un mayor análisis para darse cuenta la manera en que se involucra en la elaboración (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

#### **5.3.1. Costos indirectos de fabricación (CIF):**

Los costos indirectos de fabricación son aquellos costos que debe cubrir una fábrica para la manufactura de un producto, aparte de los materiales y la mano de obra directa (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

#### **5.4. COSTOS UNITARIOS**

El costo unitario es el gasto total que incurre una compañía por producir, almacenar y vender una unidad de un producto o servicio en particular. Es un sinónimo del costo de mercancía vendida y del costo de ventas (Ccamaque Cuti & Ortega Rimachi, 2016).

*Tabla 5.1 Costos unitarios de equipos y componentes de módulo*

ITEM	CAN/UND	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	1 und	PLC Siemens Simatic SC – 1200 / 1212C	359.28	359.28
2	1 und	VSD Schneider Electric	432.35	432.35
3	1 und	Guardamotor Schneider Electric	25.88	25.88
4	1 und	Motor eléctrico WEG	268.62	268.62
5	1 und	Fuente de alimentación 24VccSchneider Ele.	215.29	215.29
6	4 und	Pulsador con piloto LED Siemens	40.59	81.18
7	1 und	Analizador de redes Siemens Sentron PAC	1018.23	1018.23
8	3 und	Transformador de corriente Stronger 50/5A	20.59	61.77
9	2 und	Pulsador rasante Schneider Elec.	5.88	11.76
10	6 und	Pilotos LED CHINT	1.47	8.82
11	1 und	Interruptor termomagnético Siemens 3x40A	40.88	40.88
12	2 und	Interruptor termomagnético Siemens 2x2A	7.06	14.12
13	1 und	Interruptor diferencial LS 40A – 300 mA	48.53	48.53
14	7 und	Porta fusibles	3.82	26.74
15	1 und	Contactador Schneider electric 3P 9A 220V	21.71	21.71
16	2 und	Contactador Siemens	73.53	147.06
17	8 und	Led 24Vcc	0.59	4.72
18	8 und	Interruptores 220V – 2A	0.59	4.72
19	1 und	Temporizador 220V	5.88	5.88
20	1 und	Panel de aluminio	41.12	41.12
21	45 und	Borneras chasis aislados	1.03	46.32
22	1 und	Estructura de módulo + accesorios	112.00	112.00
23	100 und	Terminales para cable tipo pin	0.059	5.90
24	1 und	Espiral para cable	7.35	7.35
25	1 und	Conductor eléctrico	20.60	20.60
25	1 und	Ferretería varios	11.76	11.76
			<b>SUB TOTAL (USD)</b>	<b>3042.59</b>

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 5.2 Costo total de módulo didáctico*

Equipos y componentes de módulo.	3042.59
Mano de obra de montaje, instalación, programación y pruebas de módulo.	870.00
<b>TOTAL</b>	<b>3912.59</b>
<b>(USD)</b>	

Fuente: Elaboración propia



## CONCLUSIONES

### PRIMERA

La implementación del módulo didáctico cumple con las características requeridas de diseño y evaluación experimental para el arranque electrónico de motores de inducción de jaula de ardilla por controlador lógico programable PLC.

### SEGUNDA

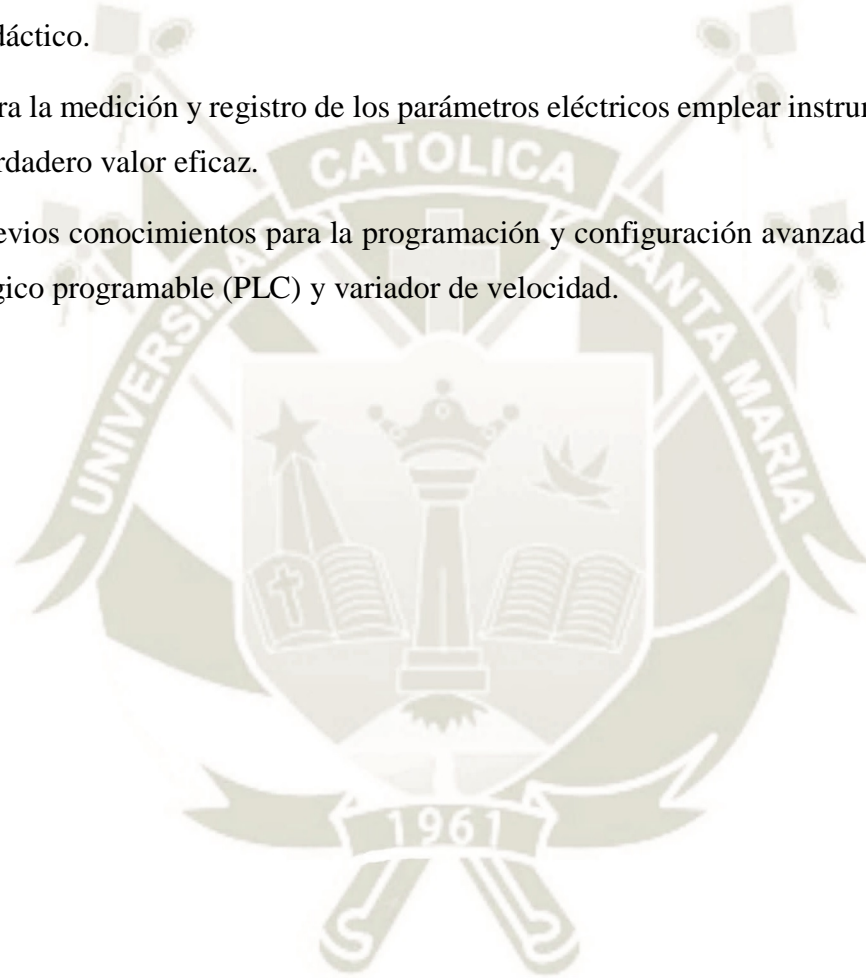
Se diseñaron e implementaron guías de prácticas para su correcto procedimiento de operación del módulo didáctico y posterior registro de datos para el análisis de parámetros eléctricos y físicos medidos en la experiencia a desarrollar.

### TERCERA

Con el diseño e implementación de este módulo didáctico, se cumplirá en la contribución de los laboratorios de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica.

## RECOMENDACIONES

1. Mantener el orden y limpieza antes, durante y después de realizar las experiencias de laboratorio.
2. Para la operación del módulo didáctico revisar a detalle las indicaciones de energización y conexión eléctrica según plano eléctrico para el laboratorio a desarrollar.
3. Realizar la revisión de los fusibles de protección antes de realizar pruebas en el módulo didáctico.
4. Para la medición y registro de los parámetros eléctricos emplear instrumentos de TRMS verdadero valor eficaz.
5. Previos conocimientos para la programación y configuración avanzada del controlador lógico programable (PLC) y variador de velocidad.



**BIBLIOGRAFÍA**

- Academia.edu. (2019). *Variadores de frecuencia repaso de conceptos electrotécnicos*.  
Obtenido de  
[https://www.academia.edu/31669647/VARIADORES\\_DE\\_FRECUENCIA\\_REPASO\\_DE\\_CONCEPTOS\\_ELECTROT%C3%89CNICOS](https://www.academia.edu/31669647/VARIADORES_DE_FRECUENCIA_REPASO_DE_CONCEPTOS_ELECTROT%C3%89CNICOS)
- Allen-Bradley. (2019). *Cuando utilizar un arrancador suave o un variador de frecuencia variable de CA*. Obtenido de  
[https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/150-wp007\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/150-wp007_-es-p.pdf)
- Aurodrives. (2019). *Variadores de velocidad*. Obtenido de  
[https://euradrivestienda.com/es\\_ES/productos/variadores-de-velocidad/](https://euradrivestienda.com/es_ES/productos/variadores-de-velocidad/)
- Bhag, G., & Hüseyin, H. (2003). *Máquinas eléctricas y transformadores. Tercera edición*. Mexico: Servicios Editoriales Gráficos, S.A. .
- Bricos. (2019). *Temporizadores: clases y funcionamiento*. Obtenido de  
<https://bricos.com/2012/11/temporizadores-clases-y-funcionamiento/>
- Calcina, A. (2016). *Optimización de funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio UNCP. [Tesis de posgrado]*. Obtenido de  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3928/Calcina%20Sotelo%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chapman, S. C. (2000). *Máquinas eléctricas*. S.A.: Ed. M. Graw - Hill.
- Corporación ABB. (2019). Qué es un variador de frecuencia: Definición, cómo funciona, características y ventajas: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>
- Corporación ABB. (2019). *DTC: Una técnica de control de motores para todas las estaciones*. Obtenido de  
[https://library.e.abb.com/public/b94aa816ef2c48cb8ea3d9c8b740fc75/ABB\\_White\\_Paper\\_DTCMotor\\_ES\\_3AUA000019548.pdf](https://library.e.abb.com/public/b94aa816ef2c48cb8ea3d9c8b740fc75/ABB_White_Paper_DTCMotor_ES_3AUA000019548.pdf)

- Corporación ABB. (2019). *Ventajas para su proceso utilizando convertidores de frecuencia*. Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/convertidores-baja-tension-ca/proposito-general/acs580/ventajas-con-convertidores>
- DNAUT. (2019). *Modulo de entrenamiento s7-1200*. <https://mpc.com.pe/>.
- Espinoza, J. (2017). *Diseño e implementación de un módulo de control con los métodos escalar y vectorial empleados en el motor de inducción para el análisis de su comportamiento en estado transitorio. [Tesis de grado]*. Obtenido de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9711/ESPINOZA\\_JORGE\\_MODULO\\_CONTROL\\_MOTOR\\_INDUCCION.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9711/ESPINOZA_JORGE_MODULO_CONTROL_MOTOR_INDUCCION.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Frailé, J. (2003). *Máquina eléctricas. Quinta edición*. España, M.: Ed. Mc. Graw - Hill.
- López, D. (2013). *Distorsión armónica producida por variadores de frecuencia para mejorar el desempeño de motores eléctricos trifásicos en el laboratorio de automatización industrial de la facultad de ingeniería civil y mecánica [Tesis de grado]*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/377493832/Tesis-I-M-215-Lopez-Ati-Darwin-Abraham>
- Motorex. (2019). *Catálogo técnico: Motor eléctrico trifásico*. Obtenido de <http://www.motorex.com.pe/p/trifasico-ie2-10-00hp-6-polos-weg/>
- Motortico. (2019). *Control Vectorial en Variadores de Velocidad*. Costa Rica: <http://www.motortico.com/>.
- Motortico. (s.f.). *Control vectorial en variadores de velocidad*. Obtenido de <http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2014%20AGO%20-%20Control%20Vectorial%20en%20Variadores.pdf>
- Reportero Industrial. (2018). *Ventajas del uso de variadores de velocidad en su industria*. Obtenido de <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Ventajas-del-uso-de-variadores-de-velocidad-en-su-industria+127873>
- Schneider-Electric. (2003). *Manual de usuario de fuente de corriente continua ABLARSM24050*. Obtenido de <https://download.schneider->

electric.com/files?p\_enDocType=Instruction+sheet&p\_File\_Name=S1A42648-01.pdf&p\_Doc\_Ref=S1A42648

Schneider-Electric-ATV28. (2002). *Variadores de velocidad ajustable ALTIVAR® 28: Manual de usuario*. Obtenido de <http://www.repmatel.es/directorio/Manuales/Telemechanique/altivar58bueno.pdf>

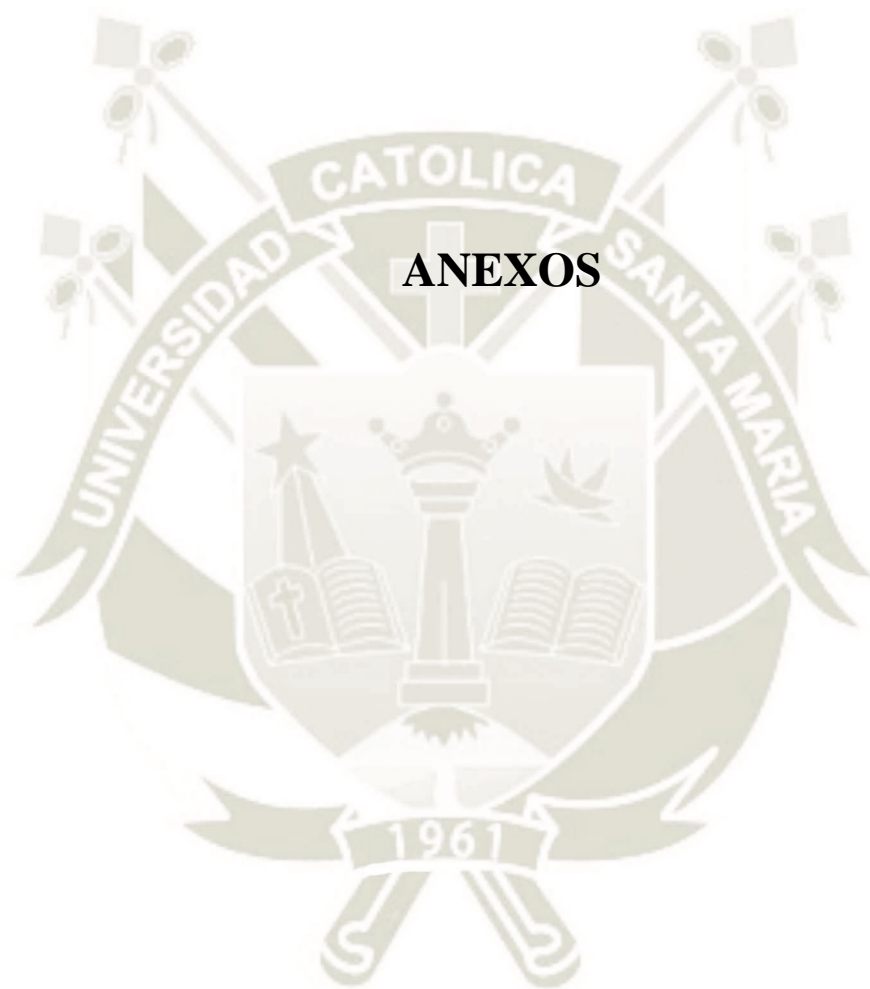
Siemens. (2019). *Multimetro Sentron Pack 4200 - Manual del sistema*. Obtenido de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/595/34261595/att\\_90272/v1/manual\\_sentron\\_pac4200\\_03\\_es-MX.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/595/34261595/att_90272/v1/manual_sentron_pac4200_03_es-MX.pdf)

SIEMENS-PLC. (2019). *Controlador programable S7-1200: Manual de sistema*. Obtenido de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/121/109478121/att\\_851434/v1/s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/121/109478121/att_851434/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf)

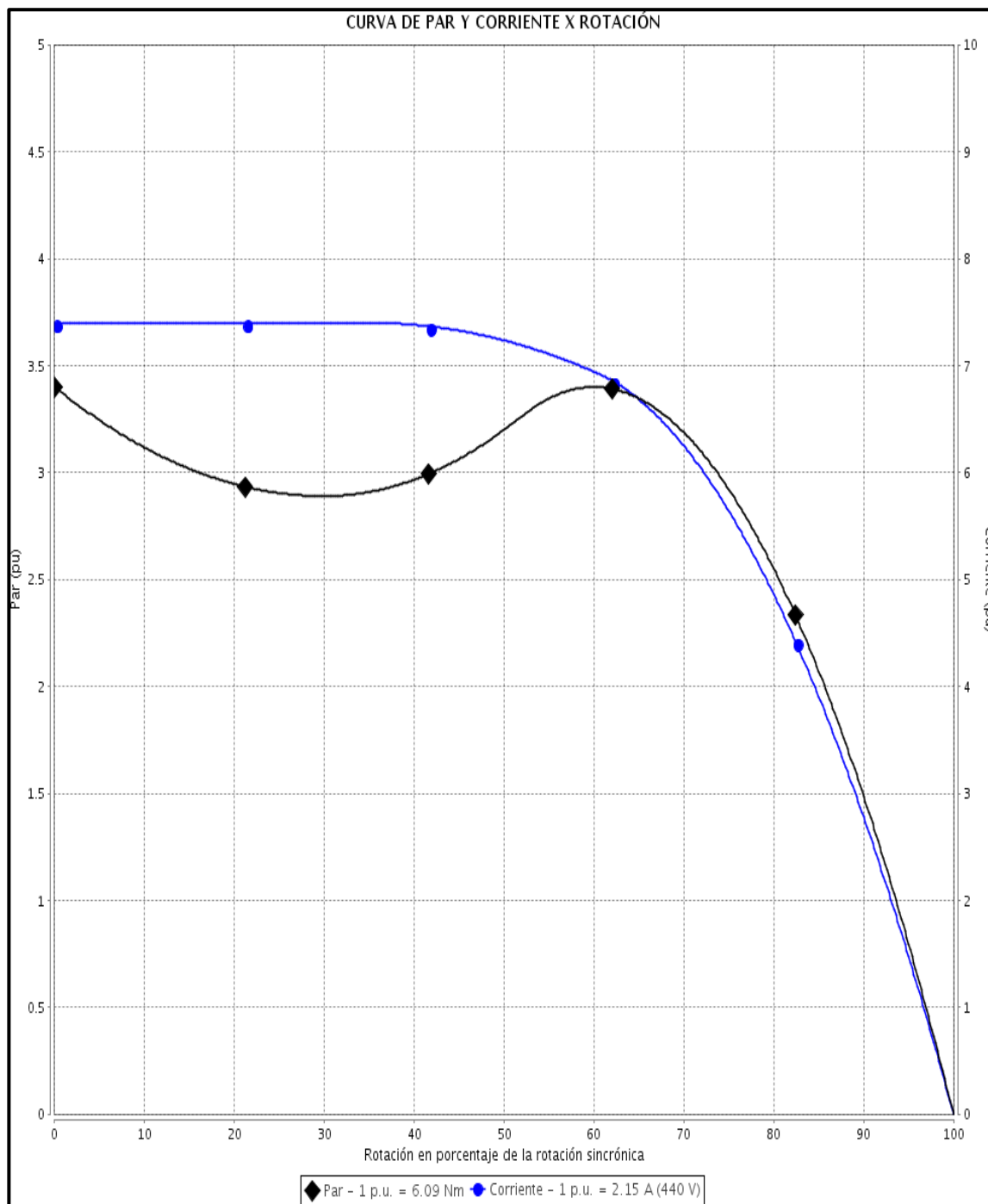
Uned. (2019). *MASTER DEGREE: Master Degree: Ingenieria de sistemas industriales*. Obtenido de [http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE6\\_1\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf)

Valencia Caceres, B. (2002). *Selección del control de motores de inducción de corriente alterna*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6043/1/T1862.pdf>.

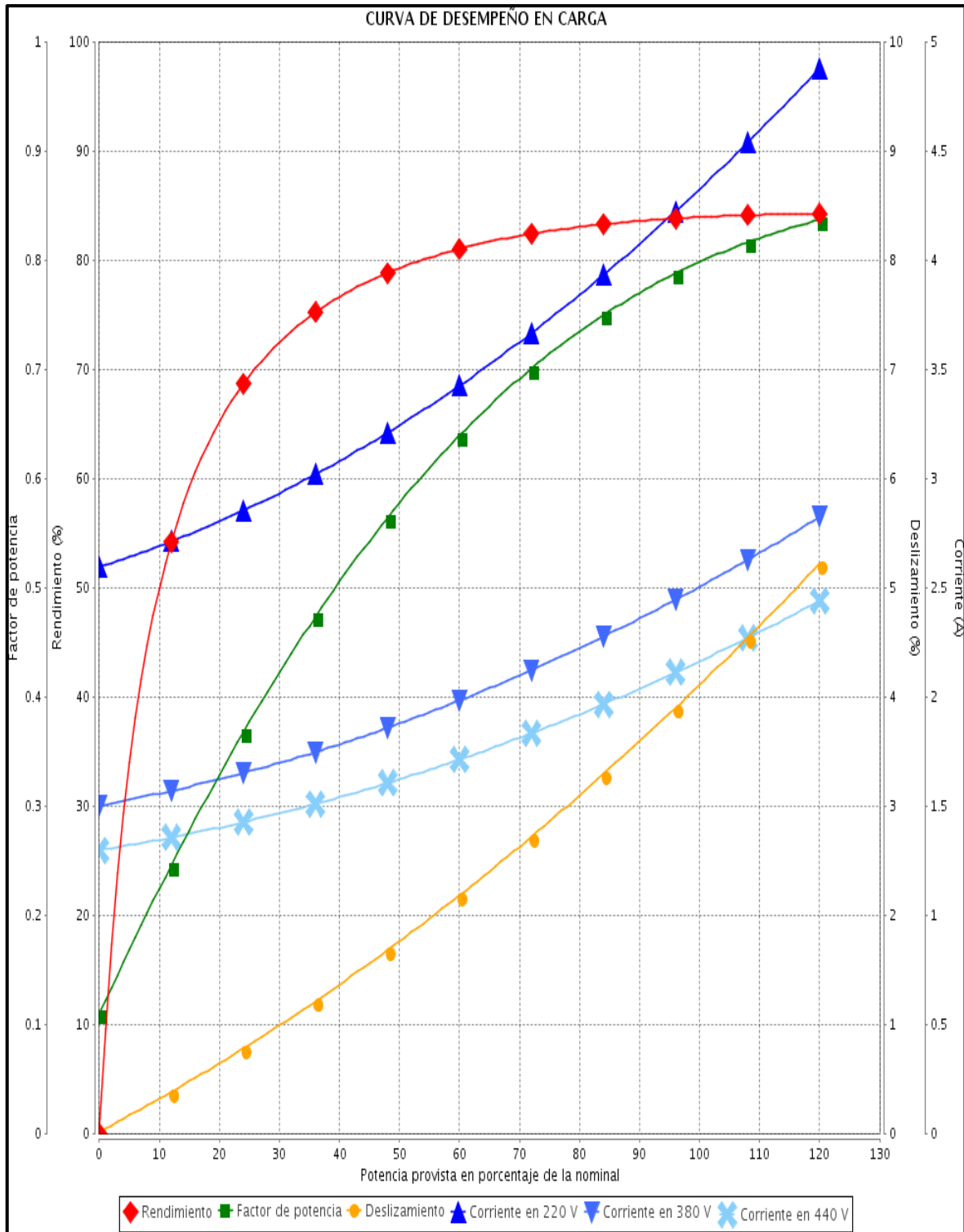
Zamora, & Urbina. (2016). *Módulo de control automático de motores eléctricos para la enseñanza y el aprendizaje*. Managua: <http://repositorio.unan.edu.ni/3165/1/4012.pdf>.



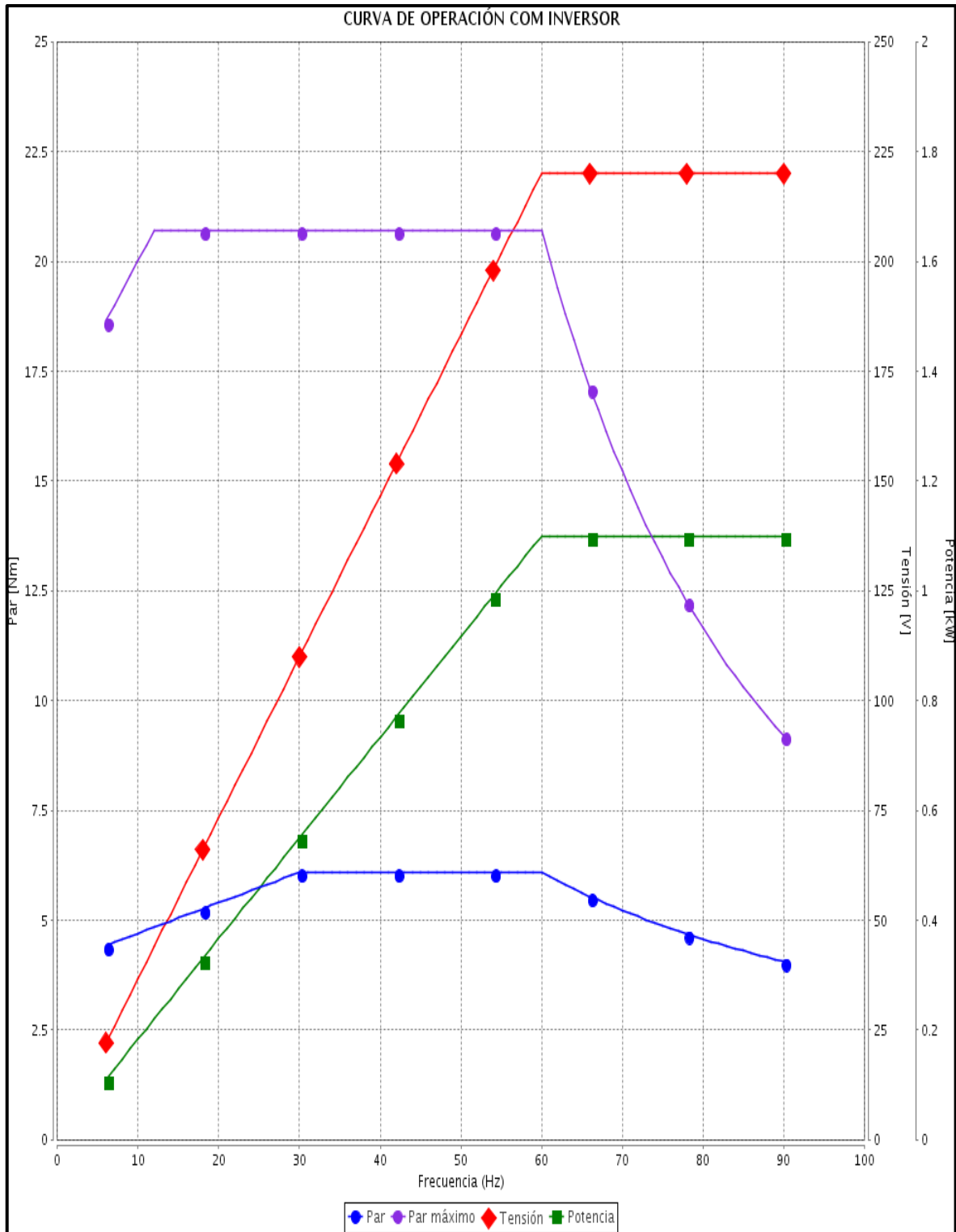
**ANEXO A: CURVA DE PAR Y CORRIENTE POR ROTACIÓN MOTOR WEG**



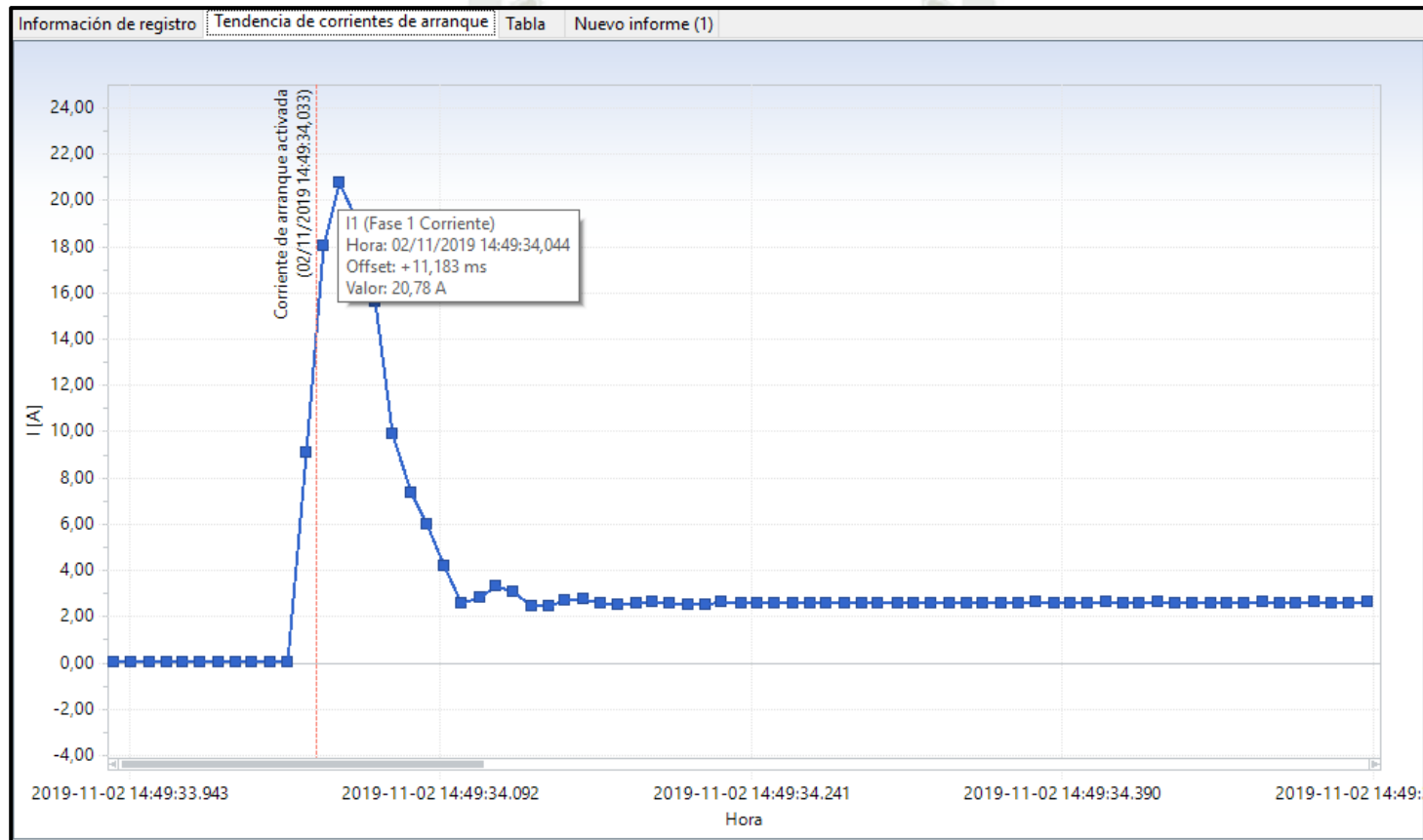
**ANEXO B: CURVA DE DESEMPEÑO EN CARGA MOTOR WEG**



**ANEXO C: CURVA DE PAR Y CORRIENTE POR ROTACION MOTOR WEG**

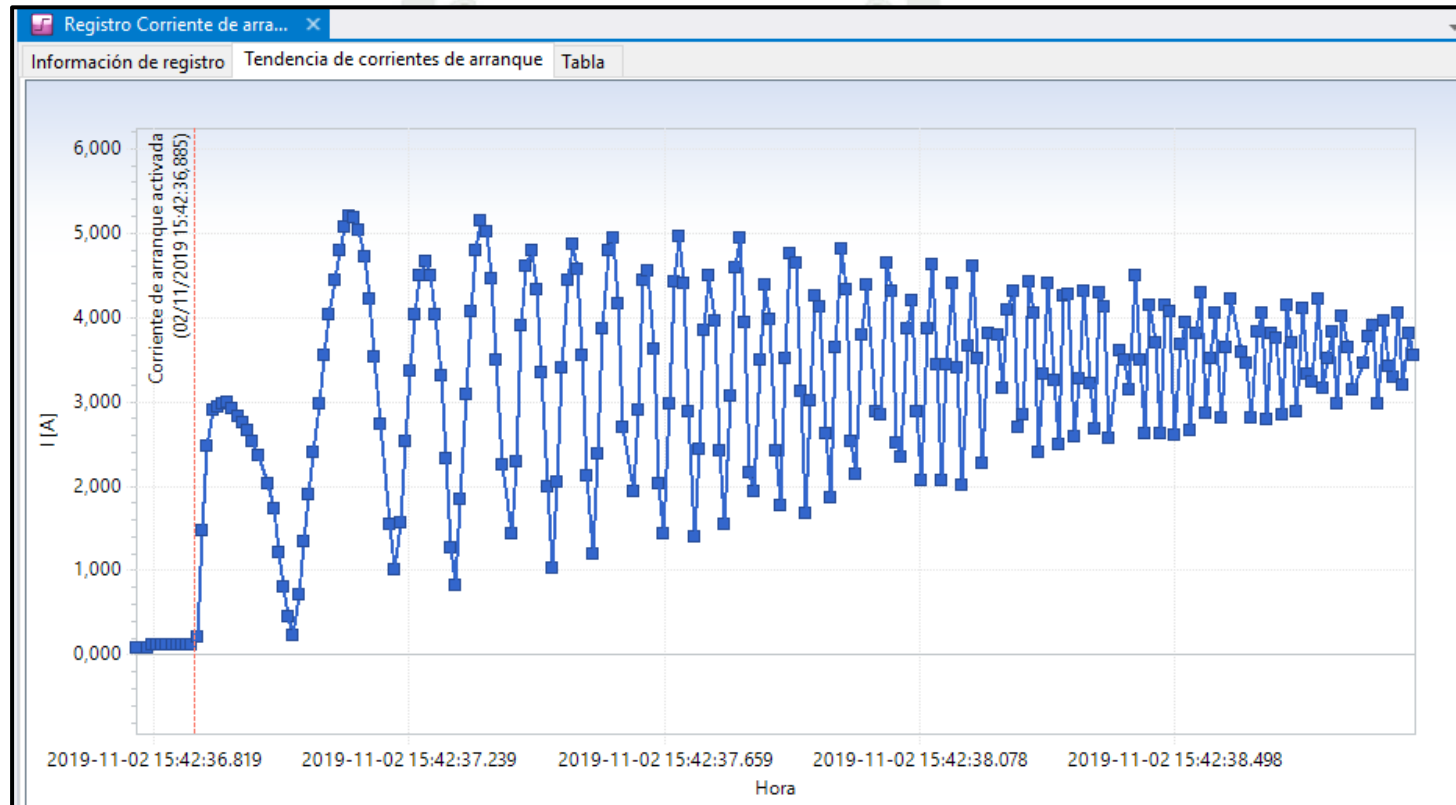


# ANEXO D: CURVA DECORRIENTE DE ARRANQUE DIRECTO DE MOTOR DE INDUCCION CON ANALIZADOR DE REDES METREL 2989



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO D: CURVA DECORRIENTE DE ARRANQUE CON VARIADOR DE VELOCIDAD DE MOTOR DE INDUCCION CON ANALIZADOR DE REDES METREL 2989**



Fuente: Elaboración propia



**ANEXO E: GUÍAS DE PRÁCTICA**

## GUÍA DE PRACTICA N° 1

### ARRANQUE DIRECTO DE MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA POR CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).

#### 1. Objetivo General

Utilizar el software STEP 7 (TIA PORTAL) en la aplicación de un programa para un sistema de bombeo hidroneumático por controlador lógico programable PLC S7-1200 de Siemens.

#### 2. Objetivos Específicos

Descripción del equipo, conocer el entorno de programación, guardar, y ejecutar el programa para PLC S7-1200 por medio del programa STEP7 (TIA PORTAL).

Análisis de la corriente de arranque de motor eléctrico.

##### 2.1. Material y Equipo

Una Laptop o computadora con tarjeta de red ethernet y el programa STEP7 (TIA PORTAL V13) instalado (deseable procesador Intel core I3 o superiores y Windows 10 PRO para su instalación)

**Tabla 2.1 Requisitos del sistema**

Hardware/software	Requisitos
Tipo de procesador	Pentium M, 1.6 GHz o similar
RAM	1GB
Espacio disponible en el disco duro	2 GB en la unidad de disco C:
Sistemas operativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Windows 7 Home Premium o superior (solo STEP 7 Basic no compatible con STEP 7 Profesional)</li> <li>Windows 7 o superior (Profesional, Interprise, Ultimate)</li> </ul>
Tarjeta gráfica	32 MB RAM

	Intensidad de color 24 bits
Resolución de pantalla	1024 x768
Red	Ethenet 20 Mbits/s o más rápido
Unidad óptica	DVD - ROM

Fuente: SIEMENS-PLC, 2019

- 1 Módulo arranque electrónico de motores de inducción por PLC ( S7-1200).
- 1 Cable cruzado Ethernet.

### 3. ENERGIZACIÓN

- Conectar suministro de energía eléctrica trifásico alterna de 380 voltios, neutro y tierra de protección indicados en el módulo.
- Verificar los interruptor principal diferencial e interruptor termomagnético de fuerza y mando presentando el estado de inactivo.
- Verificar con voltímetro los voltajes de ingreso en cada bornera del módulo.

### 4. ARRANQUE DIRECTO DE MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA POR CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

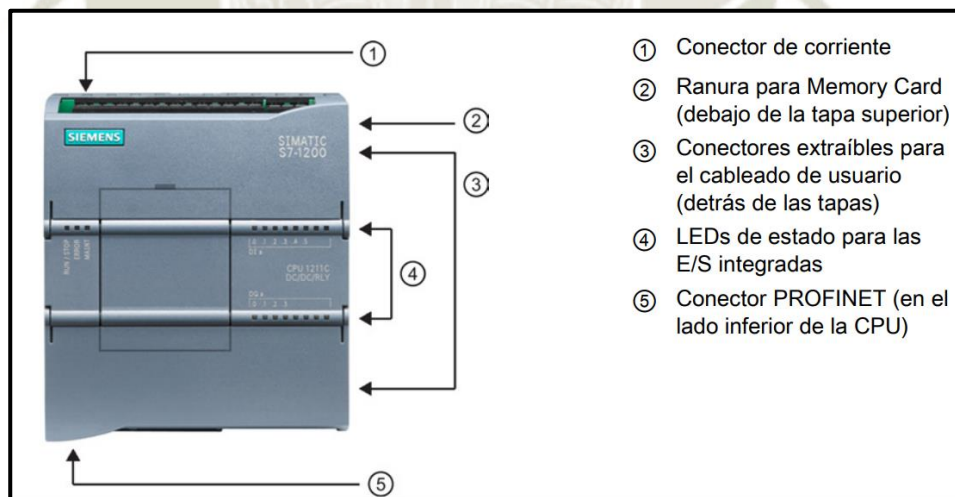
- Accionar interruptor termomagnético Q1, verificar parámetros eléctricos de alimentación en analizador de redes SENTRON PAC 4200 Siemens.
- Programación de controlador lógico programable PLC.
- Conexionado de equipos y componentes de módulo según plano eléctrico de arranque directo de motor eléctrico (véase plano 2.4).
- Regular la tensión de salida de autotransformador trifásico variable de 15KVA a 220 VAC.
- Regular la sensibilidad de guardamotor de protección para motores a 4.5 Amperios
- Instalar la pinza amperimétrica en modo de transitorios y voltímetro alterno.
- Medir y registrar 15 muestras de la corriente de arranque, obtener el promedio.

#### – Programación de controlador lógico programable PLC S7-1200

- **Introducción al PLC S7-1200**

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador. Una vez cargado el programa en la CPU, esta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Hay disponibles módulos adicionales para la comunicación en redes PROFIBUS, GPRS, RS485 o RS232 (SIEMENS-PLC, 2019).

**Figura 4.1 Partes de PLC SIMATIC S7- 1200**



Fuente: SIEMENS-PLC, 2019

- **Programa STEP 7 (TIA PORTAL)**

STEP 7 proporciona un entorno de fácil manejo para programar la lógica del controlador. Para aumentar la productividad, STEP 7 ofrece dos vistas diferentes del proyecto, a saber: Distintos portales orientados a tareas y organizados según las funciones

de las herramientas (vista del portal) o una vista orientada a los elementos del proyecto (vista del proyecto). El usuario puede seleccionar la vista que considere más apropiada para trabajar eficientemente. Con un solo clic es posible cambiar entre la vista del portal y la vista del proyecto (SIEMENS-PLC, 2019).

**Figura 4.2 Vista de portal**



Fuente: SIEMENS-PLC, 2019

Puesto que todos estos componentes se encuentran en un solo lugar, es posible acceder fácilmente a todas las áreas del proyecto. La ventana de inspección, por ejemplo, muestra las propiedades e información acerca del objeto seleccionado en el área de trabajo. Si se seleccionan varios objetos, la ventana de inspección muestra las propiedades que pueden configurarse. La ventana de inspección incluye fichas que permiten ver información de diagnóstico y otros mensajes. La barra de editores agiliza el trabajo y mejora la eficiencia, ya que muestra todos los editores que están abiertos. Para cambiar entre los editores abiertos, basta con hacer clic sobre el editor en cuestión (SIEMENS-PLC, 2019).

*Figura 4.3 Vista de proyecto*



- Vista del proyecto
- ① Menús y barra de herramientas
  - ② Árbol del proyecto
  - ③ Área de trabajo
  - ④ Task Cards
  - ⑤ Ventana de inspección
  - ⑥ Cambia a la vista del portal
  - ⑦ Barra del editor

Fuente: (SIEMENS-PLC, 2019)

**Inicio de desarrollo de programación de PLC s7 – 1200 para el sistema de bombeo hidroneumático aplicando instrucciones de lógica de bits.**

Designar con una etiqueta a las direcciones de entrada y salida del PLC. Los elementos de control están dominados en la tabla 1

*Tabla 1 Tabla de entradas y salidas de PLC*

Nº	Denominación	Etiqueta	Dirección
1	Selector automático - manual	Aut - Man	%I0.0
2	Pulsador de paro	Paro	%I0.0
3	Pulsador de marcha	Marcha	%I0.1
4	Contacto de presostato	SPres	%I0.3
5	Salida para arranque de bomba eléctrica	QBomba	%Q0.0

El resultado de programación se aprecia en la figura 1.

Figura 1 Resultado de programación

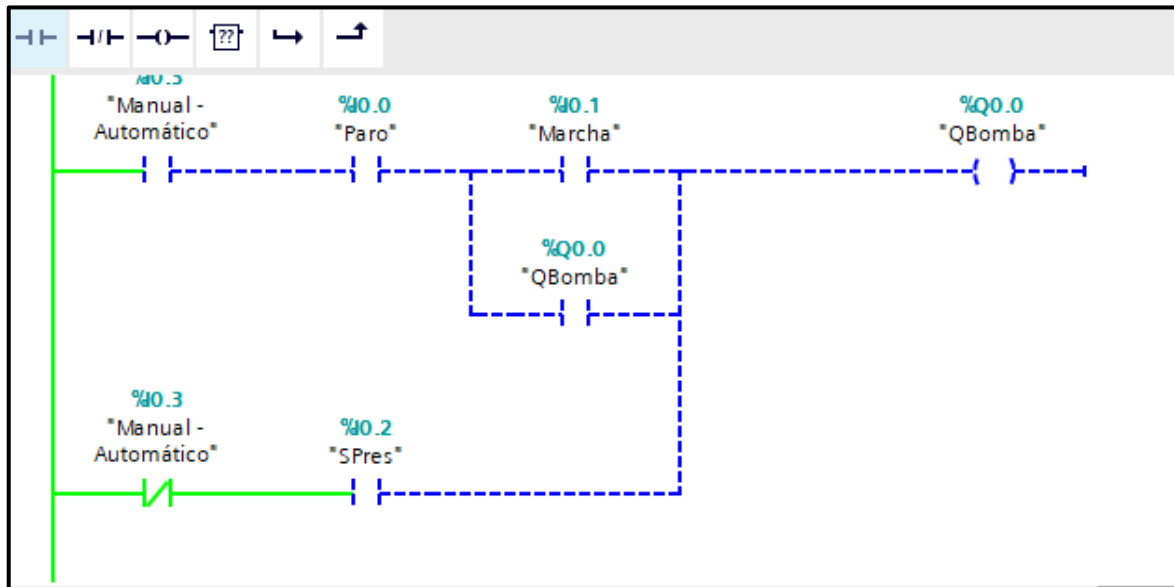
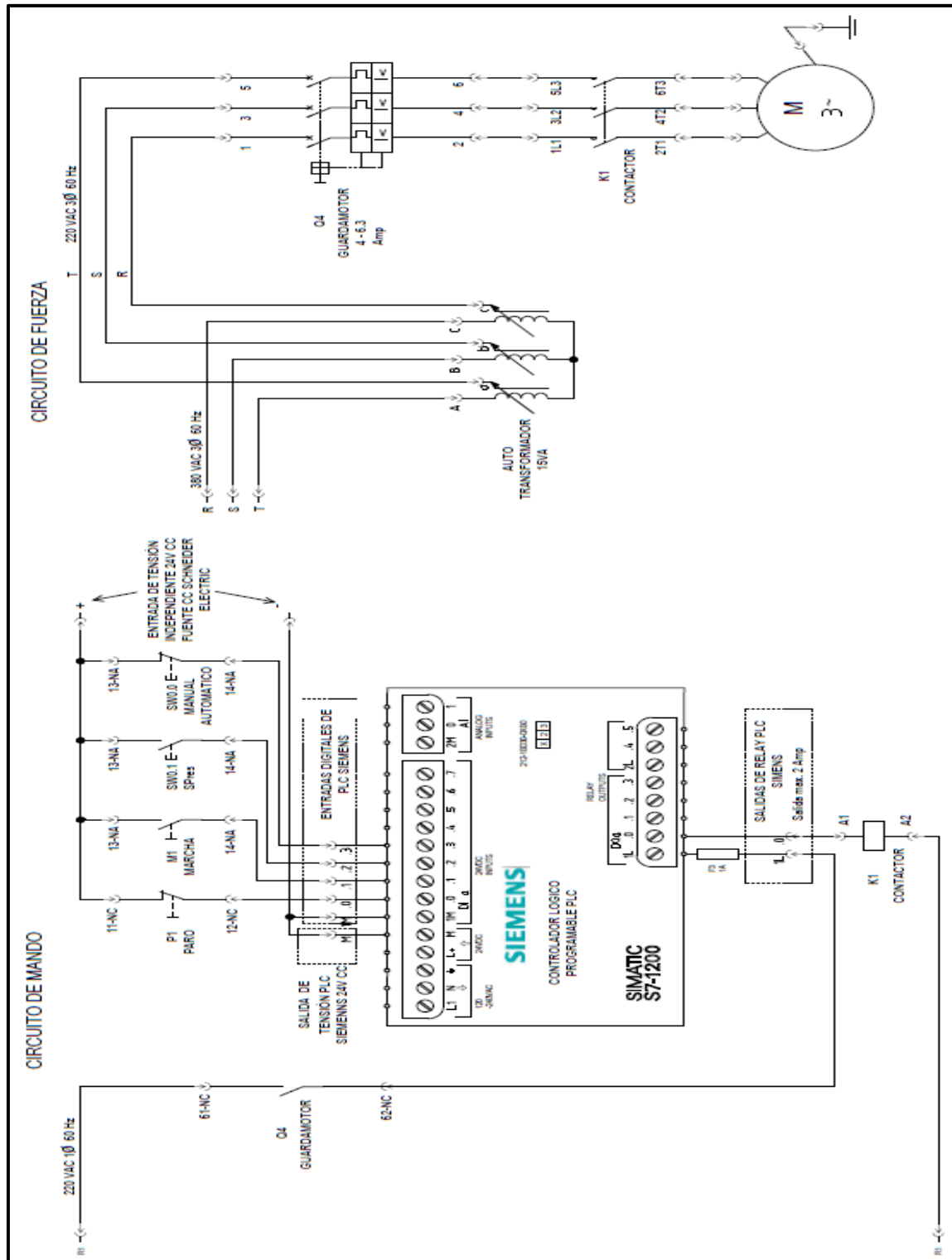


Tabla de registro de corriente de arranque.

N.-	Corriente de arranque (Amp) RMS
I1	
I2	
I3	
I4	
I5	
I6	
I7	
I8	
I9	
I10	
I11	
I12	
I13	
I14	
I15	

5. Diagrama eléctrico.



## GUIA DE PRACTICA N° 2

### PROGRAMACIÓN DE VARIADOR DE VELOCIDAD ATV 28 DE SCHNEIDER ELECTRIC.

#### 1. Objetivo General

Programación básica de variador de velocidad ATV 28 de Schneider Electric en la aplicación de arranque electrónico con inversión de giro de motor eléctrico de un programa para un sistema de bombeo hidroneumático por controlador lógico programable PLC S7-1200 de Siemens.

#### 2. Objetivos Específicos

Descripción del equipo, conocer el entorno de programación por panel y ejecución del programa del variador de velocidad ATV 28 de Schneider Electric.

Relacionar en arranque directo frente al arranque electrónico de motores de inducción.

##### 2.1. Material y Equipo

- 1 Módulo arranque electrónico de motores de inducción por PLC (S7-1200).

#### 3. ENERGIZACION

- Conectar suministro de energía eléctrica trifásico alterna de 380 voltios, neutro y tierra de protección indicados en el módulo.
- Verificar los interruptor principal diferencial e interruptor termomagnético de fuerza y mando presentando el estado de inactivo.
- Verificar con voltímetro los voltajes de ingreso en cada bornera del módulo.

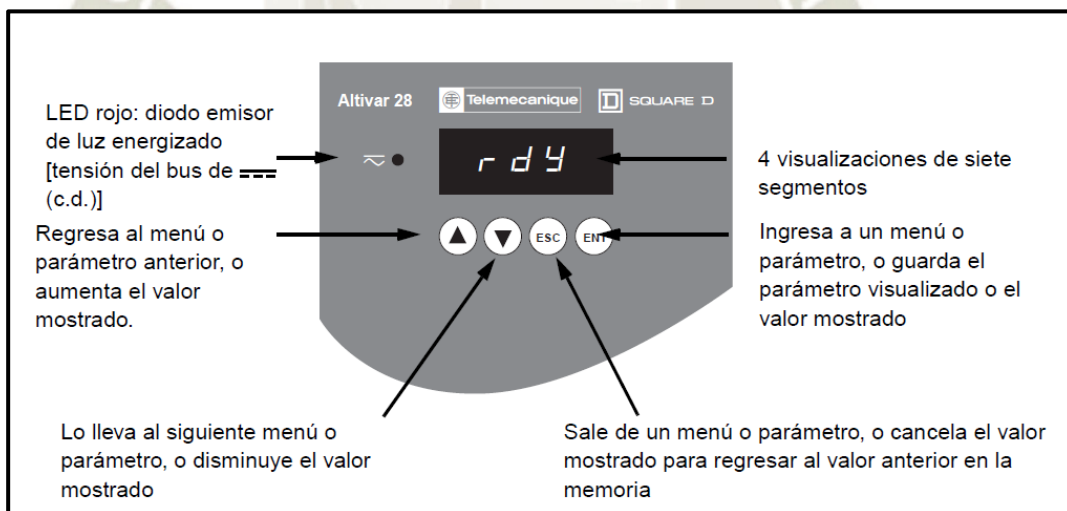
#### 4. ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA.

- Accionar interruptor termomagnético Q1, verificar parámetro eléctricos de alimentación en analizador de redes SENTRON PAC 4200 Siemens.
- Programación de variador de velocidad ALTIVAR 28. Ingresar parámetros según tabla 2.

- Conexionado de equipos y componentes de módulo según plano eléctrico de arranque directo de motor eléctrico (véase plano 3.4).
- Regular la tensión de salida de autotransformador variable de 15KVA a 220 VAC.
- Regular la sensibilidad de guardamotor de protección para motores a 4.5 Amperios
- Instalar amperímetro, voltímetro, frecuencímetro y tacómetro.
- Registro de parámetros eléctricos y velocidad de operación de arranque electrónico de motor de inducción en la tabla 1
- Graficar
  - Curva voltaje vs frecuencia.
  - Curva velocidad vs frecuencia.
  - Curva corriente de ingreso motor vs velocidad.
  - Curva de corrientes de ingreso a variador de velocidad e ingreso a motor eléctrico vs frecuencia.

– **Terminal de programación y ajustes.**

**Figura 4.1 Panel de programación**



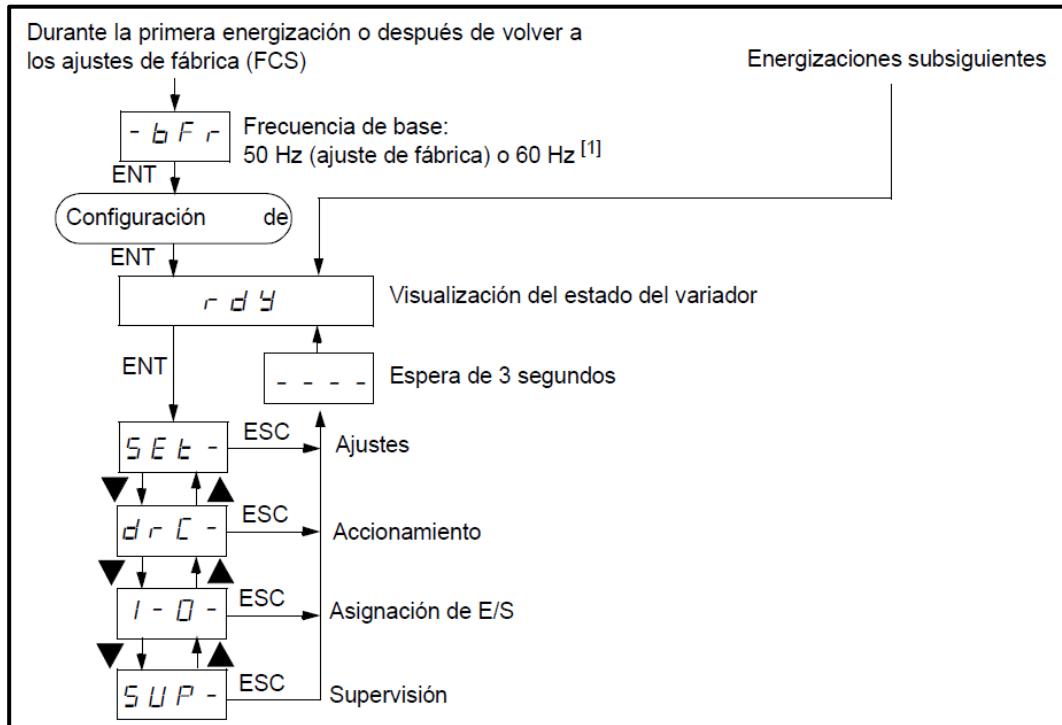
Fuente: (Schneider-Electric-ATV28, 2002)

– **Acceso a los menús**

Para la visualización de los parámetros en el display se mostrara “bfr” seguido de la frecuencia de 50 Hz (ajuste de fábrica) o 60 Hz. Presiones el botón “ENT” mostrado en la figura 4.38 , cambiando el display a “rdy” visualizando el estado del variador, presionar de

nuevo “ENT” y se mostrara en el display “SET” para el inicio de los ajustes. Continuar los procedimientos mostrados en la figura 4.39 y figura 4.40 (Schneider-Electric-ATV28, 2002).

**Figura 4.2 Acceso a los menús**



Fuente: (Schneider-Electric, 2003)

– **Advertencia.**

El ajuste correcto del parámetro bFr es importante ya que afecta a varias funciones del variador. En los modelos de 208/230 V y 400/460 V, este parámetro viene ajustado de fábrica en 50 Hz. Al poner en servicio uno de estos modelos para utilizarse con un sistema de 60 Hz, primero realice un restablecimiento a los parámetros de fábrica y luego ajuste bFr en 60. Como los modelos de 575 V son adecuados sólo para 60 Hz, no se mostrará el parámetro bFr (Schneider-Electric-ATV28, 2002).

Existen tres tipos de parámetros:

- Visualización: valores mostrados por el variador.
- Ajuste: se puede cambiar mientras el variador está funcionando o parado.



Tabla 2 Parámetros a ingresar de programación de variador de velocidad.

<b>CODIGO</b>	<b>MENU SEt - ASIGNACION</b>	<b>Unidad</b>
ACC	Tiempo de rampa de aceleración de motor	4.3
DEC	Tempo de rampa de desaceleración de motor	3.0
LSP	Velocidad baja (Hz)	1.0
HSP	Velocidad alta: asegúrese de que este ajuste sea apropiado para el motor (Hz)	60.0
ITH	Corriente utilizada para protección de motor.	6.8
<b>CODIGO</b>	<b>MENU drC-ASIGNACION</b>	<b>AJUSTE</b>
Un5	Tensión nominal del motor que se muestra en la placa de datos.	220.0
Fr5	Frecuencia nominal del motor que se muestra en la placa de datos.	60.0
tFr	Frecuencia máxima de salida.	80.0
UFt	Selección del método de control.	L
<b>CODIGO</b>	<b>ASIGNACION</b>	<b>AJUSTE</b>
tCC	Configuración de control del bloque de terminales: control 2 hilos ó 3 hilos.	3C



## GUIA DE PRACTICA N° 3

### CONTROL DEL VARIADOR DE FRECUENCIA MEDIANTE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

#### 1. Objetivo General

Interacción del variador de velocidad Altivar 28 y controlador lógico programable PLC S7 – 1200 de Siemens.

#### 2. Objetivos Específicos

Conexión de un sistema de control aplicando el PLC S7-1200 y variador de velocidad Altivar 28.

##### – Material y Equipo

- 1 Módulo arranque electrónico de motores de inducción por PLC (S7-1200).

#### 3. ENERGIZACIÓN

- Conectar suministro de energía eléctrica trifásico alterna de 380 voltios, neutro y tierra de protección indicados en el módulo.
- Verificar los interruptor principal diferencial e interruptor termomagnético de fuerza y mando presentando el estado de inactivo.
- Verificar con voltímetro los voltajes de ingreso en cada bornera del módulo.

#### 4. ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA.

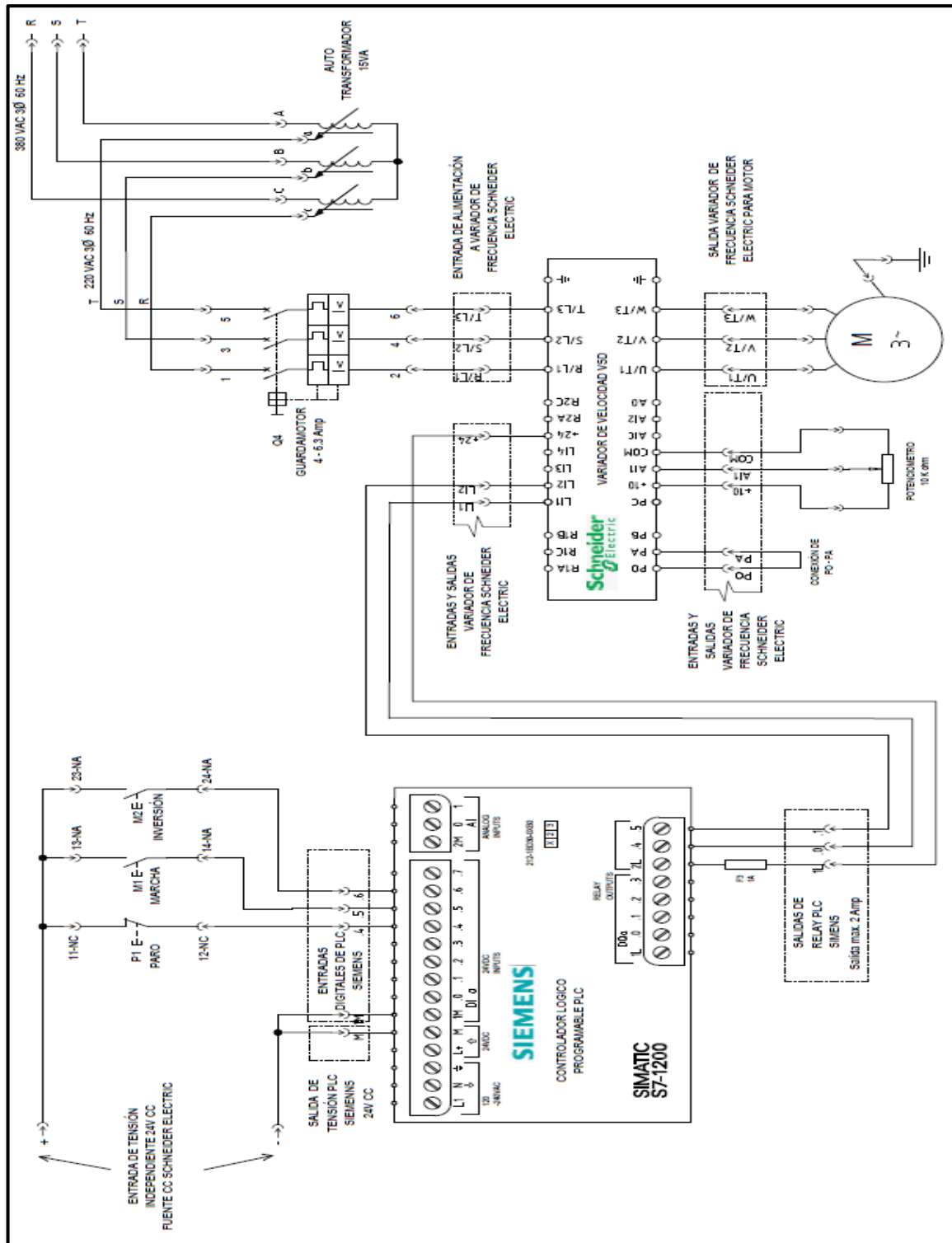
- Accionar interruptor termomagnético Q1, verificar parámetros eléctricos de alimentación en analizador de redes SENTRON PAC 4200 Siemens.
- Programación de controlador lógico programable PLC S7-1200 Siemens.
- Programación de variador de velocidad ALTIVAR 28. Ingresar parámetros según tabla 1
- Conexión de equipos y componentes de módulo según plano eléctrico de arranque directo de motor eléctrico (véase plano 4.4).
- Regular la tensión de salida de autotransformador variable de 15KVA a 220 VAC.

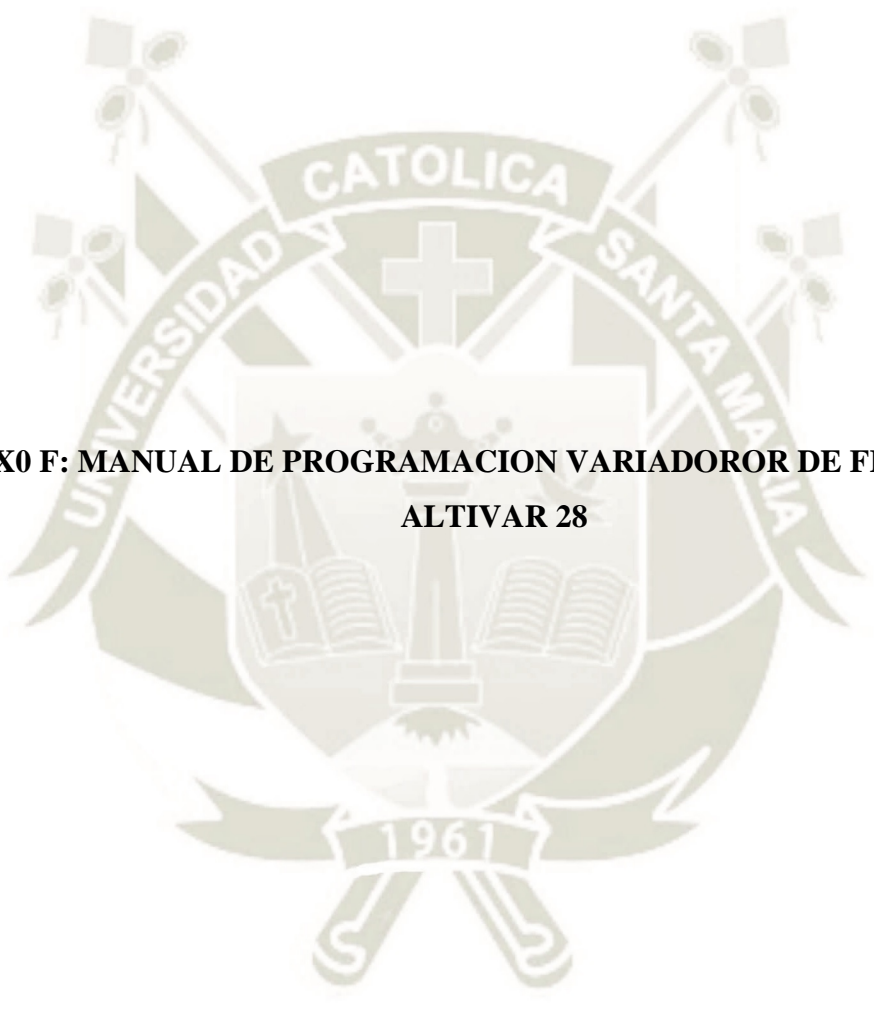
- Regular la sensibilidad de guardamotor de protección para motores a 4.5 Amperios

Tabla 1 Parámetros a ingresar de programación de variador de velocidad.

<b>CODIGO</b>	<b>MENU Set - ASIGNACION</b>	<b>Unidad</b>
ACC	Tiempo de rampa de aceleración de motor	4.3
DEC	Tempo de rampa de desaceleración de motor	3.0
LSP	Velocidad baja (Hz)	1.0
HSP	Velocidad alta: asegúrese de que este ajuste sea apropiado para el motor (Hz)	60.0
ITH	Corriente utilizada para protección de motor.	6.8
<b>CODIGO</b>	<b>MENU drC-ASIGNACION</b>	<b>AJUSTE</b>
Un5	Tensión nominal del motor que se muestra en la placa de datos.	220.0
Fr5	Frecuencia nominal del motor que se muestra en la placa de datos.	60.0
tFr	Frecuencia máxima de salida.	80.0
UFt	Selección del método de control.	L
<b>CODIGO</b>	<b>MENU I/O - ASIGNACION</b>	<b>AJUSTE</b>
tCC	Configuración de control del bloque de terminales: control 2 hilos ó 3 hilos.	2C

Diagrama eléctrico





**ANEXO F: MANUAL DE PROGRAMACION VARIADOROR DE FRECUENCIA  
ALTIVAR 28**

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tabla 1: Tensión de corriente eléctrica monofásica: 208/240 V~ -15%, +10%, 50/60 Hz





Número de catálogo	Corriente de línea entrante <sup>[1]</sup>		Potencia del motor		Corriente de salida nominal <sup>[3]</sup>	Corriente de salida transitoria <sup>[2]</sup>	Potencia disipada total a la carga nominal	Corriente nominal de cortocircuito
	208 V	240 V	kW	hp				
ATV28HU09M2U	6,9	6,4	0,37	0,5	3,3	3,6	32	1
ATV28HU18M2U	9,3	8,6	0,75	1	4,8	6	45	1
ATV28HU29M2U	15,5	14,3	1,5	2	7,8	10,9	75	1
ATV28HU41M2U	21,3	19,8	2,2	3	11	15	107	1

Tabla 2: Tensión de corriente eléctrica trifásica: 208/230 V~ -15%, +10%, 50/60 Hz

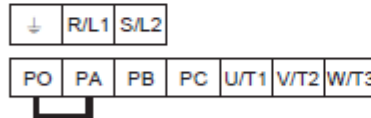
Número de catálogo	Corriente de línea entrante <sup>[1]</sup>		Potencia del motor		Corriente de salida nominal <sup>[3]</sup>	Corriente de salida transitoria <sup>[2]</sup>	Potencia disipada total a la carga nominal	Corriente nominal de cortocircuito
	208 V	230 V	kW	hp				
ATV28HU54M2U	16,8	15,4	3	-	13,7	18,5	116	5
ATV28HU72M2U	21,1	19,1	4	5	17,5	24,6	160	5
ATV28HU90M2U	36,3	33,2	5,5	7,5	27,5	38	250	22
ATV28HD12M2U	42,0	36,6	7,5	10	33	49,5	343	22



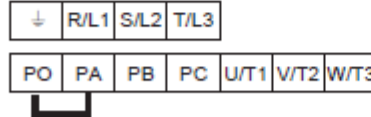
**Tabla 9: Función de las terminales de potencia (vea la figura 9 en la página 124)**

Terminal	Función	Para ATV28H*****
	Terminal de tierra del variador ATV28	Todos los modelos
R/L1, S/L2	Alimentación de entrada	Todos los modelos
T/L3		Unidades trifásicas solamente
PO	Bus de  (c.d.) + polaridad	Todos los modelos
PA	Conexión a la resistencia de frenado	Todos los modelos
PB	Conexión a la resistencia de frenado	Todos los modelos
PC	Bus de  (c.d.) - polaridad	Todos los modelos
U/T1, V/T2, W/T3	Salida al motor	Todos los modelos
Terminal del extremo derecho 	Terminal de tierra del variador ATV28	Tamaños de marco 4 a 5

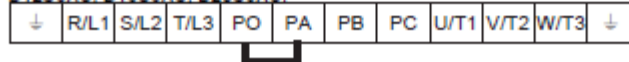
ATV28HU09M2U, U18M2U, U29M2U, U41M2U:



ATV28HU54M2U, U72M2U, U18N4U, U29N4U, U41N4U, U54N4U, U72N4U,  
U18S6XU, U29S6XU, U41S6XU, U72S6XU:



ATV28HU90M2U, D12M2U, U90N4U, D12N4U, D16N4U, D23N4U, U90S6XU,  
D12S6XU, D16S6XU, D23S6XU:



**Figura 9: Disposición de las terminales de potencia**

VVDED399062USR05/03  
05/2003

Guía del usuario ALTIVAR® 28  
Cableado

Terminales de control

Tabla 10: Descripción de las terminales de control

Terminal	Función	Especificaciones eléctricas
R1A R1B R1C	R1A es un contacto N.A. Cuando se energiza el variador de velocidad sin una falla, el contacto se cierra. R1B es un contacto N.C. Cuando se energiza el variador de velocidad sin una falla, el contacto se abre. R1C es común.	Capacidad de conmutación mínima: 10 mA para 5 V $\overline{\text{c.d.}}$ Capacidad máxima de conmutación en una carga inductiva ( $\cos \varphi = 0,4$ y $L/R = 7$ ms): 1,5 A para 250 V~ (c.a.) y 30 V $\overline{\text{c.d.}}$
R2A R2C	Contacto N.A. del relé programable R2	
COM	Común para las E/S lógicas <i>NOTA: Si los dispositivos de control externos (tales como los dispositivos de comunicación de entradas/salidas analógicas) tienen circuitos aislados, se recomienda conectar el común (COM) de la tarjeta del variador a tierra para mejorar la inmunidad al ruido.</i>	—
AI1	Entrada analógica de tensión. Se utiliza como entrada de referencia de velocidad.	Entrada analógica 0 a 10 V • Impedancia 30 k $\Omega$ • Resolución 0,01 V • Precisión $\pm 4,3\%$ , linealidad $\pm 0,2\%$ , del valor máximo • Tiempo de muestreo 4 ms como máximo
+10	Fuente de alimentación para el potenciómetro de referencia de velocidad con un valor entre 1 y 10 k $\Omega$	+10 V (+ 8% - 0%), 10 mA máx, protegida contra cortocircuitos y sobrecargas
AI2 AIC	AI2 es una entrada analógica de tensión que se utiliza para la entrada de referencia de velocidad o retroalimentación. AIC es una entrada analógica de corriente. AI2 o AIC puede ser asignada. Utilice una u otra, pero no las dos.	Entrada analógica 0 a 10 V, impedancia 30 k $\Omega$ Entrada analógica X-Y mA. X e Y pueden programarse entre 0 y 20 mA, impedancia de 450 $\Omega$ Resolución, precisión, y tiempo de muestreo de AI2 o AIC = AI1.

Tabla 10: Descripción de las terminales de control (cont.)

AO	Salida analógica. Se puede programar para indicar la corriente, la frecuencia, el par y la potencia del motor.	Salida programable entre 0 y 20 mA o 4 y 20 mA Precisión $\pm 6\%$ del valor máximo, impedancia de carga máxima 800 $\Omega$
LI1 LI2 LI3 LI4	Entradas lógicas programables. Su función depende de la configuración. Consulte la página 133.	Entradas lógicas programables • Fuente de alimentación de + 24 V (máx. 30 V) • Impedancia 3,5 k $\Omega$ • Estado = 0 si < 5 V, estado = 1 si > 11 V • Tiempo de muestreo 4 ms como máximo
+ 24	Fuente de alimentación de las entradas lógicas	+ 24 V protegida contra cortocircuitos y sobrecargas, 19 V mínimo, 30 V máximo. Disponibilidad de corriente máxima para el cliente = 100 mA

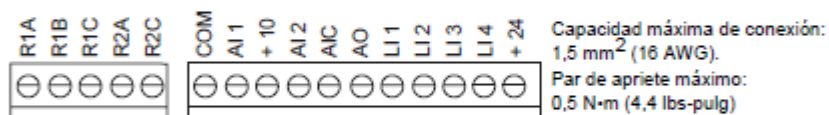


Figura 10: Disposición de las terminales de control

**NOTA:**

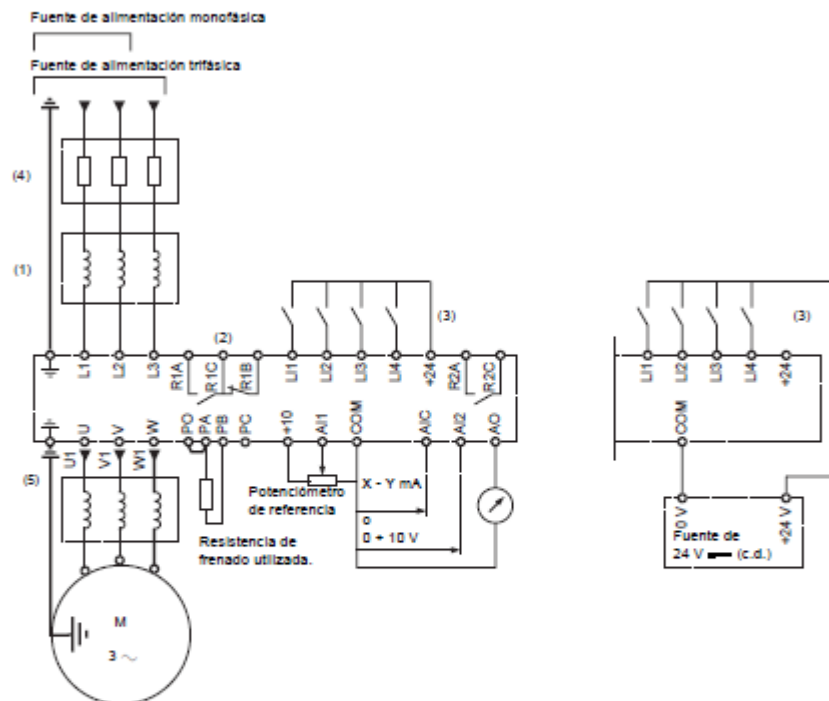
Las entradas y salidas lógicas así como las entradas y salidas analógicas se refieren a la terminal común (COM). Esta terminal común se aísla de la línea de entrada y tierra.

La tensión nominal eficaz de la barrera de aislamiento entre la terminal común y tierra es de 120 V. Si la terminal común se eleva con respecto a la tierra mediante conexiones externas al usuario, entonces todos los dispositivos conectados al común deberán ser adecuados para la tensión aplicada.

VVDED399062USR05/03  
05/2003

Guía del usuario ALTIVAR® 28  
Cableado

Diagrama de cableado



- (1) Reactancia de línea utilizada. Todas las instalaciones de 575 V deberán incluir una reactancia de línea. Consulte la página 119.
- (2) Contactos del relé de falla para indicar a distancia el estado del variador.
- (3) Interno de +24 V (c.d.). Si se utiliza una fuente externa de +24 V, conecte 0 V/terminal común de la fuente a la terminal COM. No utilice la terminal de +24 V del variador.
- (4) Coloque los fusible aquí. Consulte la sección "Fusibles recomendados" en la página 128.
- (5) Se recomienda instalar un filtro de carga en todas las aplicaciones de 575 V. Consulte la página 122.

Figura 11: Diagrama de cableado del variador de velocidad ATV28

**CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN**

**Menú Ajustes** S E T [1]

ESPAÑOL

Código	Asignación	Gama de ajuste	Ajuste de fábrica
- L F r	Referencia de velocidad a través de la terminal de programación y ajustes (consulte la página 174). Este parámetro aparece en la opción de montaje de la terminal de programación y ajustes remota si está activado el control del variador a través del módulo de la terminal: parámetro LCC en el menú Asignaciones de E/S.	LSP a HSP	
- r P l	Referencia PI. Este parámetro aparece si se ha asignado la entrada analógica AIC/AI2 a la función PI interna (AIC = PII) y LCC = no.	0,0 a 100,0%	0,0
- r D t	Sentido de rotación. Este parámetro aparece con la opción "potenciómetro arranque/parada" (consulte la página 173). Define el sentido de rotación a través del botón de marcha de la opción. - adelante: For, - atrás: rrS	For - rrS	For
- R C C - d E C	Tiempo de la rampa de aceleración del motor para que funcione de 0 Hz a FrS. Tiempo de la rampa de desaceleración del motor para que funcione de FrS a 0 Hz.	0,0 a 3 600 s 0,0 a 3 600 s	3 s 3 s
- R C P - d E P	Segundo tiempo de la rampa de aceleración Segundo tiempo de la rampa de desaceleración Estos parámetros se pueden acceder si el umbral de conmutación de rampas (parámetro Frt en el menú drC-) no es igual a 0 Hz o si se asigna una entrada lógica a la conmutación de rampas.	0,0 a 3 600 s 0,0 a 3 600 s	5 s 5 s
- L S P	Velocidad baja	0 a HSP	0 Hz
- H S P	Velocidad alta: asegúrese de que este ajuste sea apropiado para el motor y la aplicación.	LSP a tFr	bFr
- I t H	Corriente utilizada para la protección térmica del motor. Ajuste ItH en los amperes de plena carga indicados en la placa de datos del motor. Para desactivar la protección térmica, aumente el valor a su máximo (el valor nTH mostrado).	208/230 y 400/460 V: 0,20 a 1,15 In [2] 575 V: 0,50 a 1,15 In [2]	In (A) [2]

Los parámetros sombreados aparecen si se han configurado las funciones correspondientes en los menús drC- o I-O-.

[1] Al poner en servicio el variador ATV28 (excepto para los modelos de 575 V), asegúrese de que el parámetro bFr esté correctamente ajustado antes de realizar cualquier cambio en el menú SET (consulte la página 148).

[2] In corresponde a la corriente nominal del variador indicada en las tablas 1-4 (páginas 99-101) y en la placa de datos del variador.

VVDED399062USR05/03  
05/2003

Guía del usuario ALTIVAR® 28  
Códigos de programación

Menú Ajustes 5 E E - (cont.)

Código	Asignación	Gama de ajuste	Ajuste de fábrica
- UFr	Permite optimizar el par a velocidades muy bajas	0 a 100%	20 (230/ 460 V) 15 (575 V)
- SLP	Ajusta la compensación de deslizamiento para realizar afinaciones de regulación de la velocidad. Este parámetro sólo aparece si el parámetro U Ft = n en el menú drC-.	0,0 a 5,0 Hz	Según la salida del variador
- FLG	Ganancia de bucle de frecuencia Conectado a la inercia y al par resistivo del mecanismo de accionamiento: - máquinas con par resistivo o inercia altos: reduzca gradualmente la ganancia en la gama entre 33 a 0 - máquinas con ciclos rápidos, par resistivo e inercia bajos: aumente gradualmente la ganancia en la gama entre 33 y 100. Una ganancia muy alta puede causar inestabilidad en el funcionamiento.	0 a 100%	33
- IdC	Nivel de la corriente de frenado por inyección de $\overline{=}$ (c.d.). Si IdC se ajusta en continuo, después de 5 segundos la corriente de inyección alcanza el límite pico de 0,5 lH. Consulte la página 150 para lH y la página 160 para la asignación de LI.	0,1 lH a ln [1]	0,7 ln [1]
- t dC	Tiempo de frenado por inyección de $\overline{=}$ (c.d.) durante una pausa. Cuando se aumenta el tiempo a 25,5 segundos, aparece "Cont" en la pantalla. La inyección de $\overline{=}$ (c.d.) es continua durante una pausa. Consulte la página 160 para la asignación de LI.	0 a 25.4 s Cont.	0,5 s
- JPF	La frecuencia de salto evita el funcionamiento prolongado en una gama de frecuencia de +/- 2 Hz alrededor de JPF. Esta función evita una velocidad crítica que puede conducir a la resonancia. Un valor de 0 es inactivo.	0 a HSP	0 Hz
- JDC	Frecuencia de funcionamiento en marcha paso a paso	0 a 10 Hz	10 Hz
- r PG	Ganancia proporcional del regulador PI [2]	0,01 a 100	1
- r IG	Ganancia integral del regulador PI [2]	0,01 a 100 / s	1/s
- FbS	Coefficiente multiplicador de la retroalimentación PI [2]	0,1 a 100	1

Los parámetros sombreados aparecen si se han configurado las funciones correspondientes en los menús drC- o Asignaciones de E/S.

[1] In corresponde a la corriente nominal del variador indicada en las tablas 1–4 (páginas 99–101) y en la placa de datos del variador.

[2] Vea la página 160. Asigne AIC a PII o PIA para que aparezca este parámetro en la pantalla.

© 2000–2003 Schneider Electric. Reservados todos los derechos

151

ESPAÑOL

Menú Ajustes S E E - (cont.)

ESPAÑOL

Código	Asignación	Gama de ajuste	Ajuste de fábrica
- P I C	Asigna el regulador PI a la acción directa o inversa. Al seleccionar YES se invierte la medida correctora PI con relación a la retroalimentación. Esto no afecta el sentido de rotación del motor. no: normal, YES: inversa [2]	no - YES	no
- 5 P 2	2ª velocidad preseleccionada	LSP a HSP	10 Hz
- 5 P 3	3ª velocidad preseleccionada	LSP a HSP	15 Hz
- 5 P 4	4ª velocidad preseleccionada	LSP a HSP	20 Hz
- 5 P 5	5ª velocidad preseleccionada	LSP a HSP	25 Hz
- 5 P 6	6ª velocidad preseleccionada	LSP a HSP	30 Hz
- 5 P 7	7ª velocidad preseleccionada	LSP a HSP	35 Hz
- F E d	Umbral de frecuencia del motor por encima del cual el relé R2 se energiza	0 a HSP	bFr
- C E d	Umbral de corriente por encima del cual el relé R2 se energiza	0,1 I <sub>th</sub> a 1,5 I <sub>n</sub> [1]	1,5 I <sub>n</sub> [1]
- E E d	Umbral de estado térmico del motor por encima del cual el relé R2 se energiza	1 a 118%	100%
- E L 5	Tiempo de funcionamiento en velocidad baja. El motor se detiene automáticamente después de un comando de LSP durante un tiempo determinado. En un control de 2 hilos, el motor vuelve a arrancar si la referencia de frecuencia es mayor que LSP y si todavía está activo el comando de marcha del motor. En un control de 3 hilos, se deberá mandar otro comando de marcha del motor para volver a arrancar. Precaución: un valor de 0 desactiva esta función	0 a 25,5 s	0 (inhabili.)

Los parámetros sombreados aparecen si se han configurado las funciones correspondientes en los menús drC- o Asignaciones de E/S.

- [1] In corresponde a la corriente nominal del variador indicada en las tablas 1–4 (páginas 99–101) y en la placa de datos del variador.  
[2] Vea la página 160. Asigne AIC a PII o PIA para que aparezca este parámetro en la pantalla.

VVDED399062USR05/03  
05/2003

Guía del usuario ALTIVAR® 28  
Códigos de programación

**Menú Accionamiento** d r C -

*NOTA: Con excepción de los modelos de 575 V, asegúrese de que el parámetro bFr esté correctamente ajustado antes de realizar cambios en el menú drC.*

Los parámetros Frt, SFr, nrd y SdS se pueden ajustar mientras está funcionando el variador. Pare y bloquee el variador de velocidad para modificar los demás parámetros. Para optimizar el rendimiento del variador, ingrese los valores especificados en la placa de datos y realice un autoajuste (en un motor asincrónico estándar).

Código	Asignación	Gama de ajuste	Ajuste de fábrica
- U n 5	Tensión nominal del motor que se muestra en la placa de datos. La gama de ajustes depende del modelo de variador: ATV28H***M2U ATV28H***N4U ATV28H***S6XU	200 a 240V 380 a 500 V 525 a 575 V	230 V o 400 V si bFr = 50; [1] 230 V o 460 V si bFr = 60 575 V en los modelos ATV28*** S6XU
- F r 5	Frecuencia nominal del motor que se muestra en la placa de datos.	40 a 400 Hz	Ajuste FrS = bFr [1]
- t U n	Autoajuste: activo solamente para los ajustes del parámetro Uft de n y nLd. Se recomienda realizar un autoajuste al conectar un nuevo motor al variador de velocidad. - no: se utilizarán los valores nominales del motor en los algoritmos de control del motor. - donE (autoajuste completado): se utilizarán los valores medidos del motor en los algoritmos de control del motor. - YES: inicia la operación de autoajuste Cuando el autoajuste ha finalizado, se visualizará rdY en la pantalla. Al regresar a tUn, se visualizará donE. Si aparece la falla tnF, asegúrese de que esté correctamente conectado el motor. Si la conexión está correcta, es posible que el motor no sea adecuado para los ajustes n o nLd del parámetro Uft. Ajuste Uft en L o P (consulte la página 154). Nota: el autoajuste se realizará únicamente si no se ha activado el comando de marcha o frenado. Si se asigna una función de "parada libre" o "parada rápida" a una entrada lógica, se deberá ajustar la entrada en 1 (0 si desea activarla).	no-donE-YES	no

[1] Consulte la página 148 para obtener información sobre el ajuste bFr.

Menú Accionamiento  $d r \lfloor -$  (cont.)

ESPAÑOL

Código	Asignación	Gama de ajuste	Ajuste de fábrica
- $t F r$	Frecuencia máxima de salida	40 a 400 Hz	60 / 72 Hz (1,2 x bFr)
- $U F t$	Selección del método de control del motor - L: par constante para motores conectados en paralelo o motores especiales - P: par variable - n: control vectorial del flujo sin sensor para aplicaciones de par constante - nLd: ahorro de energía, para aplicaciones de par variable	L - P - n - nLd	n
- $b r R$	Aumenta automáticamente el tiempo de desaceleración de la rampa, si se ha ajustado la inercia de la carga en un valor muy bajo, evitando así una falla ObF. no: función inactiva. YES: función activa. Es posible que esta función no sea compatible con el control de posicionamiento en la rampa o con el uso de una resistencia de frenado.	no - YES	YES
- $F r t$	Frecuencia de conmutación de rampas Si la frecuencia de salida excede el valor de Frt, los tiempos de la rampa cambian a los valores de ajuste de AC2 y dE2. Si Frt = 0, la función no está activada. Este parámetro no aparece cuando se ha asignado una entrada lógica a la función de conmutación de rampas rP2.	0 a HSP	0 Hz
- $S F r$	Frecuencia de conmutación Ajuste para reducir el ruido audible generado por el motor. Reduzca la corriente de salida del variador en valores superiores a 4 kHz. • hasta 12 kHz: disminución de la capacidad en un 10 % • por encima de 12 kHz: disminución de la capacidad en un 20%	2 a 15 kHz	4,0
- $n r d$	Esta función modula de forma aleatoria la frecuencia de conmutación para reducir el ruido del motor. no: función inactiva. YES: función activa.	no - YES	YES

Parámetro ajustable durante el funcionamiento.

VVDED399062USR05/03  
05/2003

Guía del usuario ALTIVAR® 28  
Códigos de programación

Menú Accionamiento  (cont.)

### ADVERTENCIA

#### FUNCIONAMIENTO ACCIDENTAL DEL EQUIPO

- El re arranque automático se puede utilizar sólo en máquinas o instalaciones que no presenten un riesgo para el personal o el equipo durante un re arranque automático accidental.
- Si se activa re arranque automático, R1 sólo indicará una falla después de expirar la secuencia de re arranques.
- El funcionamiento del equipo deberá estar conforme con las normas y códigos de seguridad nacionales y locales.

**El incumplimiento de estas instrucciones puede causar la muerte, lesiones serias o daño al equipo.**

ESPAÑOL

Código	Asignación	Gama de ajuste	Ajuste de fábrica
- R L r	<p>Rearranque automático después de inhabilitar el variador debido a una falla, siempre que ésta haya desaparecido y las demás condiciones de funcionamiento permitan el re arranque. El re arranque se efectúa mediante una serie de intentos automáticos, separados por tiempos de espera crecientes: 1 s, 5 s, 10 s y luego 1 min. para los siguientes intentos. Si el re arranque no se produce a los 6 min., el procedimiento se abandona y el variador permanece inhabilitado hasta que se desenergiza y vuelve a energizar. Es posible realizar un re arranque automático sólo después de las siguientes fallas: OHF, OLF, USF, ObF, OSF, PHF, OPF y SLF. (El relé de falla R1 del variador no indica una falla sino hasta después de expirar la secuencia de re arranques.) Se deberán mantener la referencia de velocidad y el comando de marcha para que el variador pueda re arrancar el motor después de eliminar la falla.</p> <p>Esta función sólo puede utilizarse con control de 2 hilos (tCC = 2C). En un control de 3 hilos (tCC = 3C) solamente se restablecerá la falla.</p> <p>- no: función inactiva - YES: función activa - USF: función activa sólo para la falla USF</p>	no - YES - USF	no

© 2000–2003 Schneider Electric. Reservados todos los derechos

155

Guía del usuario ALTIVAR® 28  
Códigos de programación

VVDED399062USR05/03  
05/2003

Menú Accionamiento d r C - (cont.)

ESPAÑOL

Código	Asignación	Gama de ajuste	Ajuste de fábrica
- $\overline{OPL}$	Permite activar la falla de pérdida de fase del motor. (Ajuste OPL en OAC al utilizar un dispositivo de desconexión entre el variador y el motor. La detección trifásica será deshabilitada.) - no: función inactiva. - YES: función activa. - OAC: detección de una fase solamente.	no - YES - OAC	YES
- $\overline{IPL}$	Permite activar la falla de fase de la red de alimentación. no: función inactiva. YES: función activa. Los modelos ATV28HU09M2U, U18M2U, U29M2U y U41M2U no admiten este parámetro para una red de alimentación monofásica. Con IPL ajustado en YES, la detección de esta falla se habilita sólo cuando el motor está cargado en aproximadamente el 70% de su valor nominal.	no - YES	YES
- $\overline{SEP}$	Parada controlada al producirse una pérdida en la red de alimentación: Controla la parada del motor al producirse una pérdida en la red de alimentación, seguida de una rampa que se adapta automáticamente de acuerdo con la energía de frenado devuelta por el motor. - no: función inactiva. - YES: función activa.	no - YES	no
- $\overline{FLr}$	Activa la recuperación automática en un motor que da vueltas después de los siguientes sucesos: - una pérdida en la red de alimentación o desenergización - un restablecimiento de falla o re arranque automático - una parada libre o frenado por inyección con una entrada lógica no: función inactiva. YES: función activa.	no - YES	no
- $\overline{drn}$	Permite reducir el umbral de disparo de la falla USF para funcionar en una red de alimentación reducida al 60% de la tensión nominal de línea. no: función inactiva. YES: función activa. <i>NOTA: Es indispensable utilizar una reactancia de línea. Es posible que el variador no funcione dentro de sus especificaciones al funcionar por debajo del 50% de la tensión nominal de línea.</i>	no - YES	no

VVDED399062USR05/03  
05/2003

Guía del usuario ALTIVAR® 28  
Códigos de programación

Menú Accionamiento d r [ - (cont.)

Código	Asignación	Gama de ajuste	Ajuste de fábrica
- 5 d 5	Factor de escala del parámetro de supervisión SPd (menú -SUP) que se utiliza para graduar un valor proporcional a la frecuencia de salida, la velocidad de la máquina o la velocidad del motor, por ejemplo: un motor de 4 polos, 1 800 rpm a 60 Hz: -SdS = 30 -SPd = 1 800 a 60 Hz	1 a 200	30
- F [ 5	Retorno a los ajustes de fábrica no: no YES: el mensaje que se visualizará a continuación será InIt y luego bFr (al inicio de los menús). bFr no aparece en las unidades de 575 V después de volver a los ajustes de fábrica. El valor de LCC no se restaurará en su ajuste de fábrica.	no - YES	no

ESPAÑOL

Parámetro ajustable en funcionamiento.

Menú Asignación de E/S

Se pueden modificar los parámetros de E/S sólo si se detiene el variador y no se está ejecutando un comando de marcha. Las funciones se definen en la sección "Funciones de las entradas y salidas lógicas y analógicas configurables" en la página 133.

Al poner en servicio el variador ATV28 (excepto para los modelos de 575 V), asegúrese de que el parámetro bFr esté correctamente ajustado antes de realizar cualquier cambio en el menú Asignación de E/S. Consulte la página 148.

**⚠ ADVERTENCIA**

**FUNCIONAMIENTO ACCIDENTAL DEL EQUIPO**

Verifique el ajuste del parámetro tCC y cerciórese de que tenga el valor deseado antes de activar el variador de velocidad.

**El incumplimiento de esta instrucción puede causar la muerte, lesiones serias o daño al equipo.**

VVDED399062USR05/03  
05/2003

Guía del usuario ALTIVAR® 28  
Códigos de programación

Menú Asignación de E/S I - □ - (cont.)

Código	Asignación	Ajuste de fábrica
- E E E	<p>Configuración del control del bloque de terminales: control de 2 ó 3 hilos. 2C = 2 hilos, 3C = 3 hilos, OPT = presencia de la opción de potenciómetro arranque/parada (consulte la página 173), el funcionamiento es idéntico al control de 3 hilos.</p> <p>Control de 2 hilos (control sostenido): El estado de los controles (abierto o cerrado) de entrada cuando el variador está en marcha o parado. Durante la energización, la entrada de marcha adelante o atrás deberá pasar por una transición de bajo a alto antes de que el variador arranque el motor cuando no se ha asignado el re arranque automático.</p> <p>Ejemplo de cableado:</p> <p>L11: adelante L1x: atrás</p> <p>Control de 3 hilos (control momentáneo): necesita pulsar una sola vez para controlar el arranque.</p> <p>Ejemplo de cableado:</p> <p>L11: parada L12: adelante L1x: atrás</p> <p>Nota: Al cambiar la asignación de tCC los ajustes de las entradas lógicas vuelven a los ajustes de fábrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tCC = 2C: L11: Adelante, no puede reasignarse L12: rrS (Atrás) L13: PS2 L14: PS4</li> <li>• tCC = 3C: L11: Parada, no puede reasignarse L12: For (Adelante), no puede reasignarse L13: rrS (Atrás) L14: JOG</li> <li>• tCC = OPT: L11: no, no puede reasignarse L12: PS2 L13: PS4 L14: PS8</li> </ul>	2C
- L L L	<p>Parámetro accesible únicamente con la opción de montaje de la terminal de programación y ajustes remota (consulte la página 174): no - YES</p> <p>Permite el control del variador mediante los botones STOP/RESET, RUN y FWD/REV en el módulo de la terminal de programación y ajustes. La referencia de velocidad se obtiene a través del parámetro LFr del menú SET-. Sólo los comandos de parada libre, parada rápida y parada por inyección de  (c.d.) permanecen activos en el bloque de terminales. Si la conexión variador/terminal de programación y ajustes remota se corta, el variador se para con una falla SLF.</p>	no

ESPAÑOL



VVDED399062USR05/03  
05/2003

Guía del usuario ALTIVAR® 28  
Códigos de programación

Menú Asignación de E/S I - □ - (cont.)

Código	Asignación	Ajuste de fábrica
- R I C	<p>Entrada analógica AIC o AI2 no: no asignada. SAI: suma con AI1. PII: Retroalimentación del regulador PI. Utilice el parámetro rPI de la terminal de programación y ajustes para ajustar el punto de referencia. [1][2] PIA: Retroalimentación del regulador PI. Utilice AI1 para el ajuste del punto de referencia. [1]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>SAI no puede ser asignada cuando ha sido asignada una entrada lógica a rFC (auto/manual).</li> <li>PII y PIA no pueden ser asignadas si se ha asignado una entrada lógica a JOG o PS2.</li> <li>Si se asigna la entrada lógica LIX a RFC (auto/manual) y se asigna AIC a PII o PIA:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>si LIX = 0, la referencia de velocidad es la salida de la función PI interna.</li> <li>si LIX = 1 y AIC se ajustan en PII, la referencia de velocidad se toma del parámetro rPI (vea rPI en la página 150). [2]</li> <li>si LIX = 1, y AIC se ajusta en PIA, la referencia de velocidad se toma de AI1.</li> </ul> </li> </ul>	SAI
- CrL - CrH	<p>Valor mínimo en la entrada AIC, ajustable entre 0 y 20 mA. Valor máximo en la entrada AIC, ajustable entre 4 y 20 mA. Estos dos parámetros se utilizan para configurar la gama de corriente de entrada. Frecuencia</p> <p>Si la entrada utilizada es AI2, los parámetros permanecen proporcionalmente activos: 4 mA → 2 V 20 mA → 10 V Para 20-4 mA, CrH deberá ser inferior que CrL. Para una entrada de 0-10 V, configure CrL en 0 y CrH en 20.</p>	4 mA 20 mA

[1] La asignación de esta función muestra las configuraciones ajustables correspondientes en el menú SET-.

[2] No se muestra RPI si LCC = YES en la terminal de programación y ajustes.

ESPAÑOL

Menú Asignación de E/S I - 0 - (cont.)

ESPAÑOL

Código	Asignación	Ajuste de fábrica
- <i>AD</i>	Salida analógica no: no asignada. Ocr: corriente del motor. 20 mA equivalen a dos veces la corriente nominal térmica del motor I <sub>th</sub> . rFr: frecuencia del motor. 20 mA equivalen a la frecuencia máxima tFr. OLO: par motor. 20 mA equivalen a dos veces el par nominal motor. OPr: potencia generada por el variador. 20 mA equivalen a dos veces la potencia nominal del motor.	rFr
- <i>ADt</i>	Salida analógica 0: configuración entre 0 y 20 mA 4: configuración entre 4 y 20 mA	0
- <i>r2</i>	Relé R2 no: no asignada FtA: umbral de frecuencia alcanzado. El contacto se cierra si la frecuencia del motor es mayor que o igual al umbral definido por el parámetro Ftd. <sup>[1]</sup> CTA: umbral de corriente alcanzado. El contacto se cierra si la corriente del motor es mayor que o igual al umbral definido por el parámetro Ctd. <sup>[1]</sup> SrA: referencia de velocidad alcanzada. El contacto se cierra si la frecuencia del motor es mayor que o igual a la referencia de velocidad. tSA: umbral térmico alcanzado. El contacto se cierra si el estado térmico del motor es mayor que o igual al umbral definido por el parámetro ttd. <sup>[1]</sup>	SrA
- <i>Ad</i>	Dirección del variador cuando se controla a través de una conexión en serie. Ajustable entre 1 y 31.	1
- <i>bdr</i>	Velocidad de transmisión de la conexión en serie: 9,6 = 9 600 bits /s o 19,2 = 19 200 bits /s <sup>[2]</sup> La modificación de este parámetro no aplica hasta que se desenergiza y vuelve a energizar el variador.	19,2

[1] La asignación de esta función muestra las configuraciones ajustables correspondientes en el menú SET-.

[2] La terminal de programación y ajustes remota muestra las funciones sólo cuando bdr se ajusta en 19,2.

VVDED399062USR05/03  
05/2003

Guía del usuario ALTIVAR® 28  
Códigos de programación

### Menú Supervisión S U P -

El menú Supervisión le permite elegir el parámetro deseado mientras está en marcha el variador, así como visualizar la última falla, la versión de firmware y el código de acceso.

Para guardar la supervisión seleccionada:

pulse la tecla ENT una vez. La elección es temporal. Se borrará durante la siguiente energización.

Pulsando la tecla ENT dos veces, la elección es permanente. Al pulsar ENT por segunda vez, sale del menú SUP-.

Se puede tener acceso a los siguiente parámetros ya sea con el variador parado o en marcha.

Código	Parámetro	Unidad
- F r H	Visualiza la referencia de frecuencia	Hz
- r F r	Visualiza la frecuencia de salida aplicada al motor	Hz
- S P d	Visualiza la velocidad calculada por el variador (rFr x SdS)	—
- L C r	Visualiza la corriente del motor	A
- P P r	Visualiza la potencia suministrada al motor y estimada por el variador. 100% corresponde a la potencia nominal del variador.	%
- U L n	Visualiza la tensión de línea	V
- t H r	Visualiza el estado térmico del motor: el 100% corresponde al estado térmico nominal del variador. Por encima del 118%, el variador dispara una falla de OLF (sobrecarga del motor) a no ser que esté inhabilitado lth.	%
- t H d	Visualiza el estado térmico del variador: el 100% corresponde al estado térmico nominal del variador. Por encima del 118% el variador dispara una falla de OHF (sobrecalentamiento del variador). Se puede restablecer por debajo del 100%.	%
- L F t	Visualiza la última falla. Si no hay una falla, la pantalla muestra: noF. Consulte "Códigos de fallas" en la página 170 para obtener una lista de fallas.	—
- C P U	Versión de firmware del variador	—

ESPAÑOL

Menú Supervisión **5UP-** (cont.)

ESPAÑOL

Código	Parámetro
- [ 0 ] d	<p>Este parámetro se puede ver y acceder sólo en los variadores de velocidad con una versión de firmware 1.1IE12 o anterior (o versión 7.7 IE15 para los variadores de 600 V), utilizando la opción de montaje de la terminal de programación y ajustes remota o realizando pruebas con el software de puesta en servicio. Consulte las páginas 174 y 175.</p> <p>Código de acceso: 0 a 9999. Valor 0 (ajuste de fábrica) no evita el acceso no autorizado. Todos los demás valores bloquean el acceso a los menús SEt-, drC- y l-O-.</p> <p>Para bloquear el acceso al variador, ingrese el código con las teclas de flechas (▲ ▼) luego pulse ENT para guardarlo.</p> <p>Para desbloquear el acceso a los menús, ingrese el código con las teclas de flechas (▲ ▼) luego pulse ENT para guardarlo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si el código es el correcto, la pantalla destellará. Ingrese el código 0 para acceder a los menús.</li> <li>• Si el código es incorrecto, el variador regresa a la pantalla original (rdY).</li> </ul>
- - - -	<p>Visualiza el estado del variador: el estado de funcionamiento del motor o una falla.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Init: inicialización</li> <li>- rdY: variador listo</li> <li>- xx.x: referencia de frecuencia (por ejemplo, 43,0)</li> <li>- dcb: Frenado por inyección de === (c.d.)</li> <li>- rtrY: Rearranque automático</li> <li>- nSt: Parada libre</li> <li>- FSt: Parada rápida</li> </ul>

VVDED399062USR05/03  
05/2003

Guía del usuario ALTIVAR® 28  
Tablas de configuración

### TABLAS DE CONFIGURACIÓN

Utilice las siguientes tablas para anotar la información y los ajustes del variador de velocidad.

Variador de velocidad ATV28H: \_\_\_\_\_

Número de identificación del cliente opcional: \_\_\_\_\_

Versión del software (parámetro de la CPU en el menú SUP): \_\_\_\_\_

Código de acceso opcional: \_\_\_\_\_

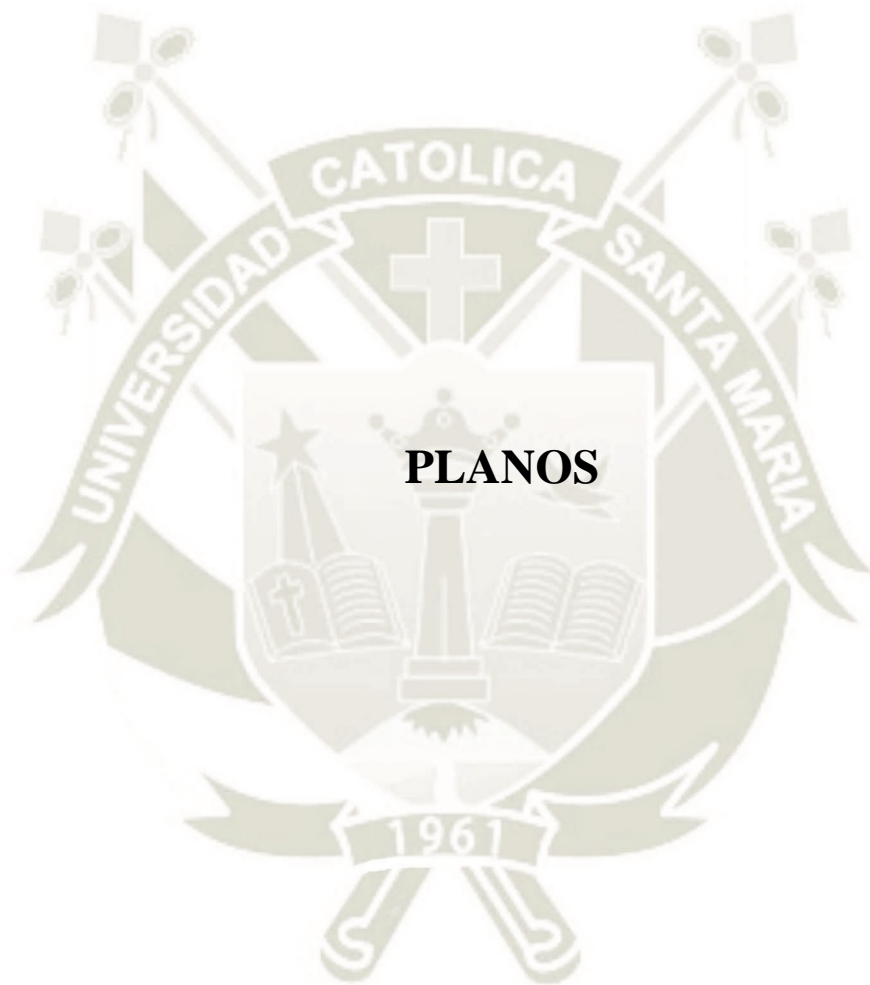
Opción de potenciómetro arranque/parada no  sí

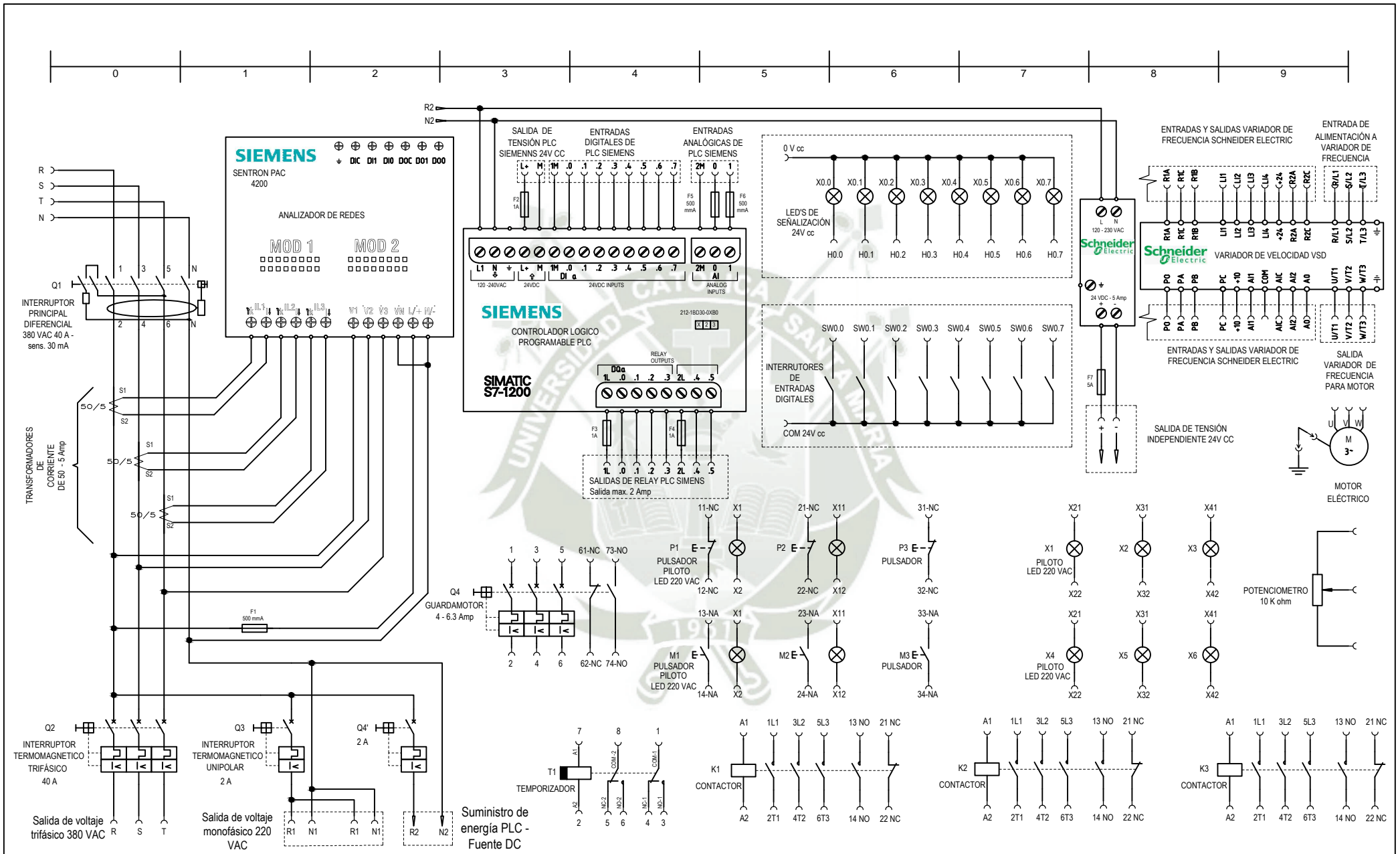
Menú SE E - (Ajustes)

Código	Ajuste de fábrica	Ajuste del cliente	Código	Ajuste de fábrica	Ajuste del cliente
-rPI	0,0%	%	-rDE	For	
-RCL	3,0 s		-dEC	3,0 s	s
-RCL2	5,0 s		-dE2	5,0 s	s
-LSP	0,0 Hz	Hz	-HSP	Hz	Hz
-IEH	A	A	-UFR	20% (15% para 575 V)	%
-SLP	Hz	Hz	-FLG	33%	%
-IdC	A	A	-EdC	0,5 s	s
-JPF	0 Hz	Hz	-JOG	10 Hz	Hz
-rPG	1		-rIG	1/ s	/s
-FbS	1		-PIC	no	
-SP2	10 Hz	Hz	-SP3	15 Hz	Hz
-SP4	20 Hz	Hz	-SP5	25 Hz	Hz
-SP6	30 Hz	Hz	-SP7	35 Hz	Hz
-FEd	Hz	Hz	-LEd	A	A
-LEd	100%	%	-EL5	0,0 s	s

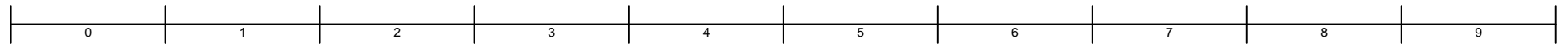
Los parámetros sombreados aparecen si se han configurado las funciones correspondientes en los menús drC- o I-O-.

ESPAÑOL

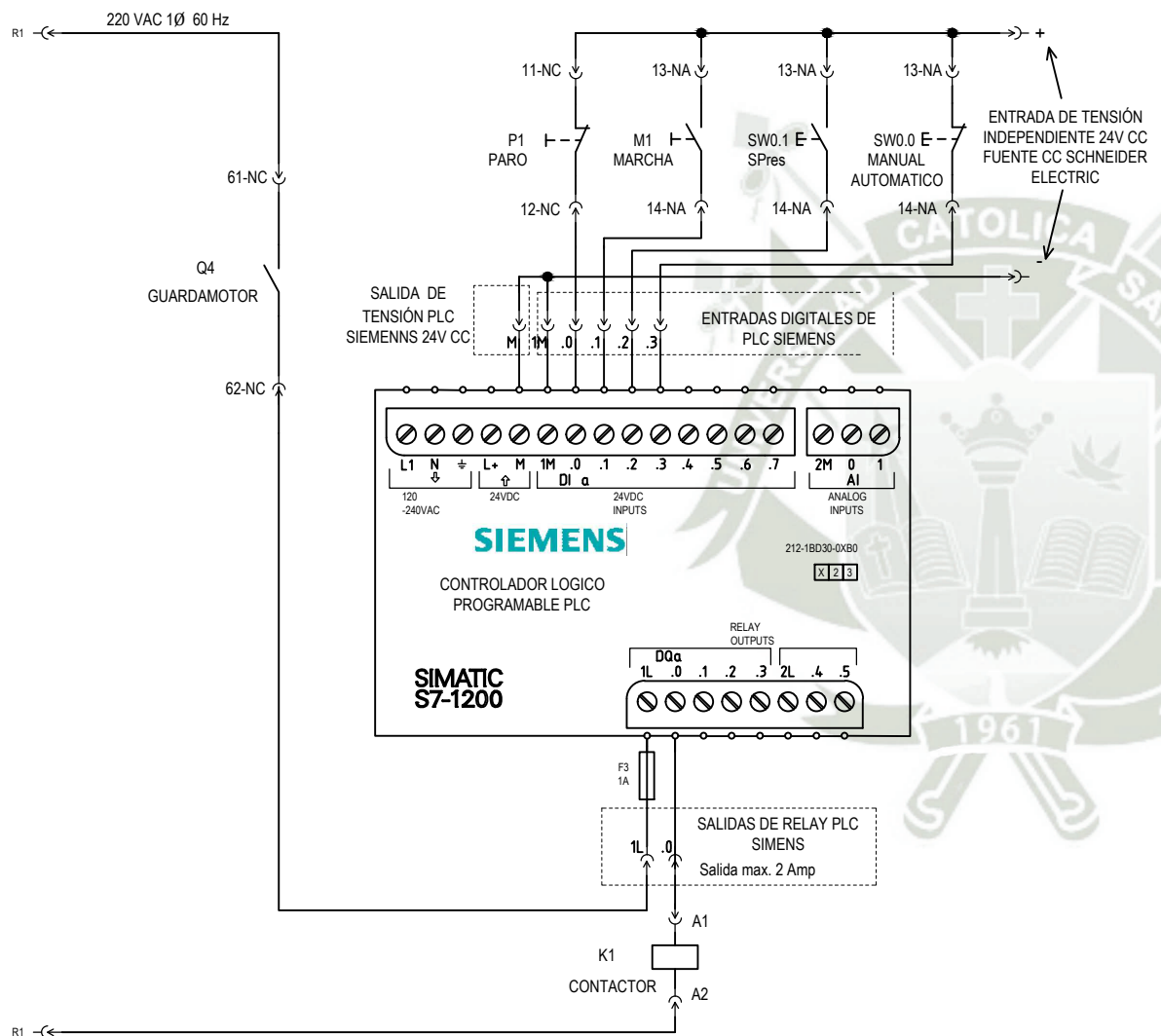




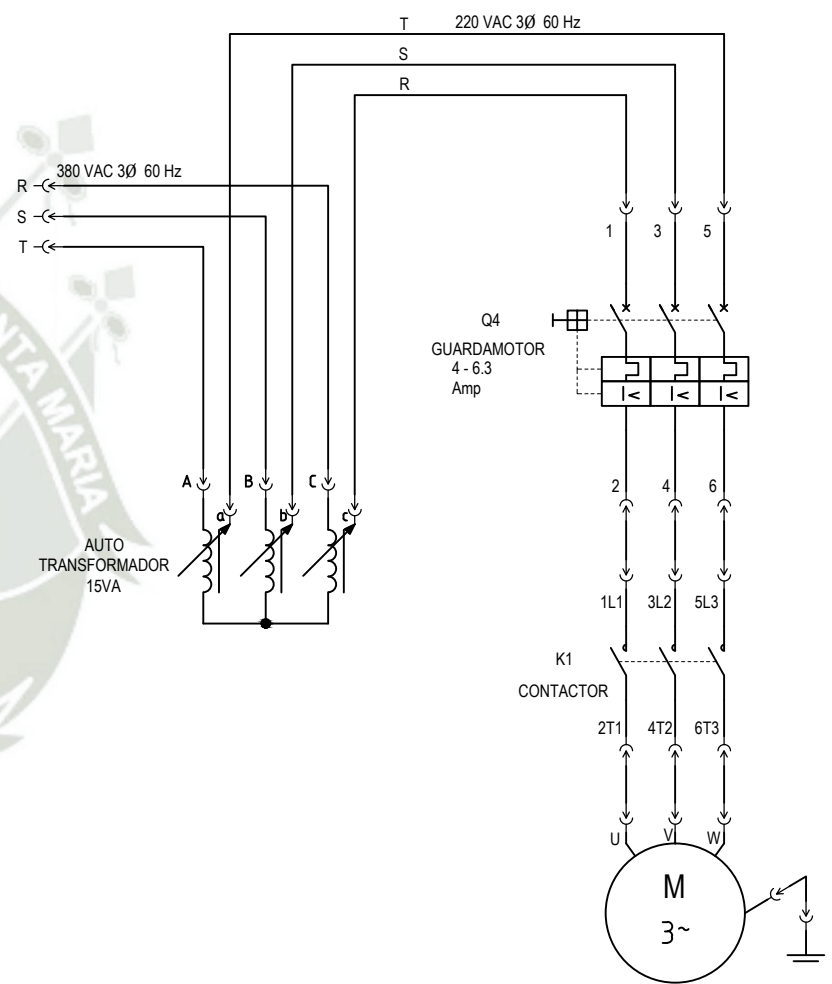
Titulo: <b>MÓDULO ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTORES DE INDUCCIÓN</b>	<b>UCSM</b>	
	S/N	
Plano: <b>PLANO ELÉCTRICO</b>	Proyecto: <b>Luis Zapana M</b>	Escala: <b>S/E</b>
	Dibujado: <b>Luis Zapana M</b>	Fecha: <b>24-10-2019</b>



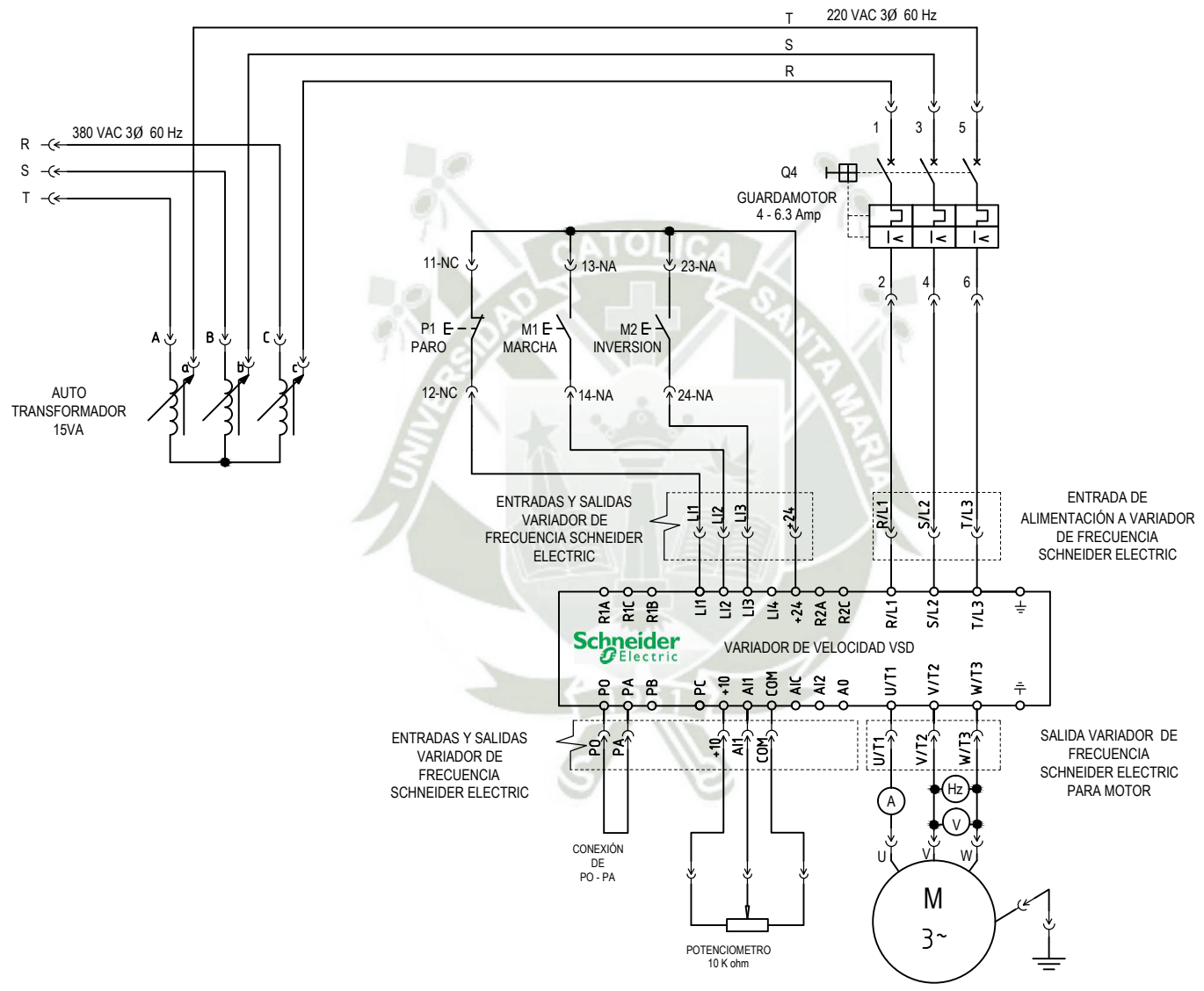
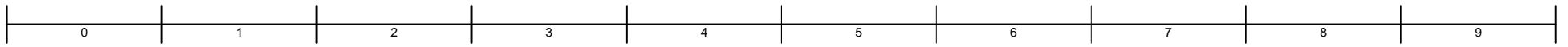
CIRCUITO DE MANDO



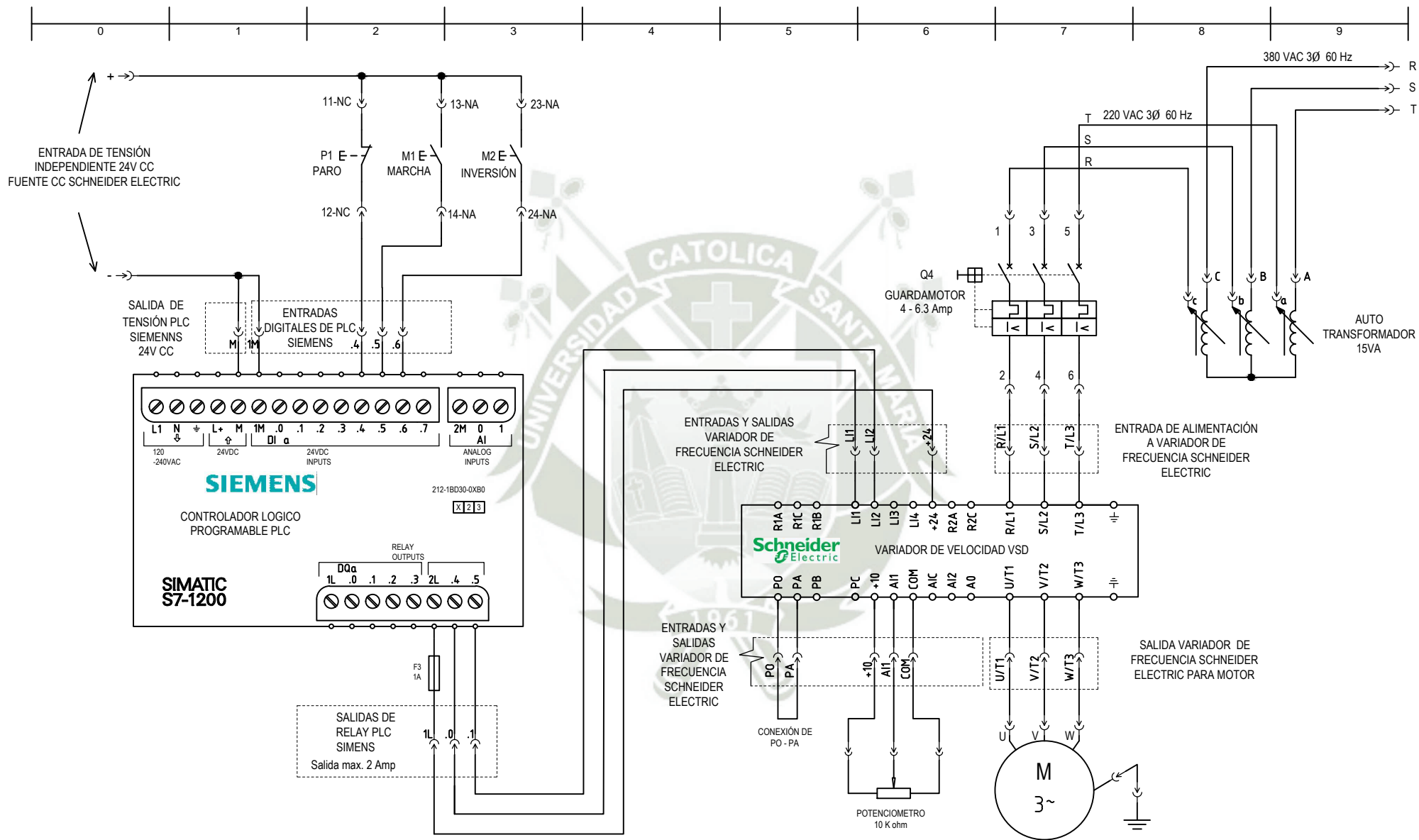
CIRCUITO DE FUERZA



Titulo: <b>MÓDULO ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTORES DE INDUCCIÓN</b>	UCSM		
	S/N		
Plano: ARRANQUE SIMPLE DE MOTOR 3Ø 220 VAC	Proyectado: Luis Zapana M	Escala: S/E	Nro: 2 / 4
	Dibujado: Luis Zapana M	Fecha: 24-10-2019	



Titulo: <b>MÓDULO ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTORES DE INDUCCIÓN</b>	UCSM	
	S/N	
Plano: ARRANQUE E INVERSIÓN DE GIRO DE MOTOR CON VSD	Proyectado: Luis Zapana M	Escala: S/E
	Dibujado: Luis Zapana M	Fecha: 24-10-2019
		Nro: 3 / 4



<b>Título:</b> <b>MÓDULO ARRANQUE ELECTRÓNICO DE MOTORES DE INDUCCIÓN</b>	<b>UCSM</b>	
	<b>S/N</b>	
<b>Plano:</b> ARRANQUE E INVERSIÓN DE GIRO DE MOTOR CON VSD Y PLC	<b>Proyectado:</b> Luis Zapana M	<b>Escala:</b> S/E
	<b>Dibujado:</b> Luis Zapana M	<b>Fecha:</b> 24-10-2019
		<b>Nro:</b> 4 / 4